

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

**ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

**Кафедра автоматизації хімічних виробництв**  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ А.І.Жученко  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

**Дипломний проект**  
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

на тему: Автоматизація процесу виробництва глинозему методом спікання

---

Виконав (- ла): студент (- ка) 4 курсу, групи ЛА – 51  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Підлісний Владислав Сергійович  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ ст.викл. Лукінюк Михайло Васильович  
( посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант Охорона праці \_\_\_\_\_ доцент Ковтун І. М.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, , прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань  
Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
ім. І. Сікорського**

Інститут (факультет)      Інженерно-хімічний факультет  
(повна назва)

Кафедра      Автоматизації хімічних виробництв  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І. Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Підлісному Владиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу виробництва глинозему методом спікання,  
керівник проекту Лукінюк Михайло Васильович, ст.викл.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. № 1525

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту система керування, що забезпечує час перехідного процесу по каналу витрата палива – температура сировини не більше 300 секунд, та час перехідного процесу по каналу витрата повітря – концентрація кисню не більше 100 секунд

4. Зміст пояснювальної записки

Аналіз процесу виробництва глинозему методом спікання; математичне моделювання трубчастої печі; синтез системи керування; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації глинозему методом спікання

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М., доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу гідроочищення нафтових олив	15.04.2019	
2	Отримання математичної моделі трубчастої печі	10.05.2019	
3	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	20.05.2019	
4	Синтез системи керування	03.06.2019	
5	Охорона праці	05.06.2019	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Підлісний В.С.  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Лукінюк М. В.  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект на тему «Автоматизація виробництва глинозему методом спікання» містить пояснювальну записку об'ємом 66 сторінки, 2 листи креслень формату А1 та 2 листи креслень формату А2.

Пояснювальна записка містить 17 рисунків, 2 таблиць, 1 додаток, 12 літературних джерел. Додаток складається зі специфікації устаткування, виробів і матеріалів до функціональної схеми.

В пояснювальній записці виконаний аналіз технологічного процесу виробництва глинозему методом спікання; розроблено математичну модель, побудовані відповідні статичні та динамічні характеристики; розроблено автоматичну систему керування; розраховано вимірювальний канал ; підібрані необхідні засоби безпеки під час роботи на виробництві з охорони праці та виконано аналіз основних небезпек.

*Ключові слова:* синтез, трубчаста піч, математична модель, автоматичний регулятор, статичні характеристики, динамічні характеристики, оптимізація, об'єкт керування, автоматизація, технічні засоби автоматизації.

## **Abstract**

Diploma project on «Automation of the process of production of alumina by the sintering method» contains an explanatory note volume of 66 pages, 2 sheets of A1 size drawings and 2 sheets of drawings A2.

Explanatory note contains 17 figures, 2 tables, 1 application, 12 references. The application consists of the specification of equipment, products and materials to functional circuit.

In the memorandum the analysis of the process of production of alumina by the sintering method; mathematical model constructed corresponding static and dynamic characteristics; developed automatic control system; calculated measuring channel; selected the required safety equipment when working in manufacturing labor protection and the analysis of the main dangers.

*Keywords:* synthesis, tubular stove, mathematical model, automatic controller, static characteristics, performance, optimization, project management, automation, facilities automation.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Загальна характеристика.....	8
1.1. Властивості алюмінію .....	8
1.2. Сировина для виробництва глинозему.....	9
1.3. Методи одержання глинозему .....	10
1.4. Фізико-хімічні основи і технологія процесу виробництва глинозему методом спікання .....	10
1.5. Обґрунтування вибору апарату для математичного моделювання .	14
2. Розробка системи автоматизації виробництва глинозему.....	15
2.1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації .....	15
2.2. Опис розробленої схеми автоматизації виробництва глинозему методом спікання.....	19
2.3. Дистанційне керування і аварійний захист електричних двигунів ..	24
3. Математичне моделювання трубчастої печі.....	30
4. Синтез системи керування.....	48
5. Розрахунок метрологічних характеристик вимірювального каналу .....	52
6. Охорона праці .....	56
Висновок.....	65
Список використаних джерел .....	66

					<i>ДП.ЛA51.5118.ПЗ</i>		
<i>Змн</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Автоматизація процесу виробництва глинозему методом спікання</i>		
<i>Розроб</i>		<i>Підлісний В.С.</i>					
<i>Перев</i>		<i>Лукінюк М. В.</i>					
<i>Реценз</i>							
<i>Н.Контр.</i>							
<i>Затв.</i>		<i>Жученко А. І.</i>			<i>НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, ІХФ, ЛА-51</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						6	74

## Вступ

Складність і висока швидкість протікання технологічних процесів у хімічній промисловості, їх чутливість до порушень режиму, а також підвищені вибухо- і пожежонебезпечність і шкідливість умов роботи спричиняють підвищену увагу до питань автоматизації хіміко-технологічних процесів. Автоматичні контроль та керування технологічними процесами забезпечують високу якість продукції, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу.

Алюміній являється одним із найважливіших легких кольорових металів. По масштабам виробництва та споживання посідає друге місце серед усіх металів та перше місце серед металів свого класу. Саме тому в кольоровій металургії виробництво цього металу займає свою спеціалізовану підгалузь «Алюмінієва промисловість» включає видобуток сировини для алюмінієвої промисловості, виробництва алюмінію, глинозему та фтористих солей.

Метою даної роботи є ознайомлення з власне процесом виробництва глинозему методом спікання, огляд існуючих математичних моделей процесу виробництва глинозему, розробка і дослідження математичної моделі процесу виробництва глинозему методом спікання, використання якої в подальших дослідженнях дозволить із мінімальними матеріальними витратами, виконати оцінку механічного і енергетичного стану процесу, та синтез системи керування процесом виробництва глинозему методом спікання, що забезпечить випуск готової продукції заданої якості при функціонуванні процесу виробництва глинозему у режимі ресурсо- та енергозбереження з урахуванням можливих непередбачуваних відключень енергоживлення.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		7

## Розділ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

### 1.1. Властивості алюмінію.

Алюміній – твердий срібно-сірий метал. Легко піддається куванню, прокатці, волочінню та різанню. Пластичність алюмінію залежить від його чистоти, зростання пластичності відбувається при збільшенні чистоти металу. Щільність алюмінію  $2,7 \text{ т/м}^3$ , температура плавлення  $660,2^\circ\text{C}$ , температура кипіння  $2520^\circ\text{C}$ . В розплавленому стані рідинно-текучий і легко піддається литтю.

Алюміній має високо тепло- та електропровідність, які залежать від його чистоти. Якщо порівнювати з міддю, алюміній високої чистоти має 65% від її електропровідності.

Алюміній хімічно активний, легко окислюється киснем повітря, у зв'язку з цим створюється поверхнева плівка оксиду  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що сприяє його високій корозійній стійкості. В мілко подрібненому при нагріванні на повітрі займається і згорає. Нагріваючись утворює з вуглецем карбід  $\text{Al}_4\text{C}_3$  та з азотом нітрид  $\text{AlN}$ . Алюміній розчиняється в сильних кислотах та лугах, оскільки являється атмосферним металом. Нормальний електродний потенціал алюмінію складає  $1,66 \text{ В}$  при  $\text{pH} < 7$  і  $3,25 \text{ В}$  при  $\text{pH} > 7$ .

Внаслідок цінних властивостей (мала щільність, пластичність, корозійна стійкість в атмосфері і тд), також надлишок сировини і низька ціна алюмінію в чистому вигляді, а також у сплавах широко використовується в різних галузях техніки (транспортної, будівельної, електротехнічної, машинобудувальної, приладобудувальної та інших промисловостях).

Алюміній утворює з кремнієм, міддю, магнієм, цинком, марганцем та іншими металами два типи сплавів – деформуючі і ливарні. Найбільш поширені серед деформуючих сплавів дуралюміни – сплав алюмінію з міддю, марганцем і магнієм. Є сировиною для виробництва виробів різного профілю (труби, листи, панелі, стержні, ємності) методами штамповки та прокатки. Із

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						8
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



ливарних сплавів виділяються силуміни, маючи в своєму складі кремній, використовується для виготовлення фасонних відливок різних конфігурацій.

Алюміній високої степені чистоти застосовується в ядерній енергетиці, напівпровідниковій електроніці, радіолокації, для створення відбиваючих поверхонь рефлекторів та дзеркал. В ролі відновника при отриманні ряду металів, розкислення сталі, для зварювання деталей приміняється в металургії.

## 1.2. Сировина для виробництва глинозему

Алюміній наявний у складі багатьох мінералів, але в якості сировини застосовується тільки певний перелік алюмінієвих руд в залежності від складу і концентрації оксиду алюмінію розрізняють боксити, нефеліни, алуніти і каоліни. Основним з цього переліку вражаються боксити, який має в своєму складі гідратований оксид алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$ . За степеню гідратації алюмінієвий компонент в бокситах може перебувати в двох формах діаспора  $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$  (або  $\text{HAlO}_2$ ) та гідроаргелита  $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$  (або  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). В складі бокситів також присутній оксид кремнію (від 0,5 до 20%), а також різні з'єднання заліза, кальцію та магнію. Кремнієвий модуль це – відношення вмісту оксиду алюмінію до вмісту оксиду кремнію  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ . Для бокситів які застосовуються в ролі сировини в алюмінієвій промисловості, мінімальне значення модуля повинно складати 2,6, боксити середньої якості мають діапазон 5 – 7, а також вміст оксиду алюмінію 46 – 48%.

Нефеліни представляють складну потрійну сіль складу  $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$  та являються складовою частиною в апатито-нефелінової руди, яка має в своєму складі апатит  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \times \text{CaF}_2$ . Щоб виробляти алюміній застосовують нефеліновий концентрат, вміст оксиду алюмінію становить 20 – 30%.

Алуніти представляють подвійну основну сіркокислу сіль алюмінію та калію складу  $\text{K}_2\text{SO}_4 \times \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 4\text{Al}(\text{OH})$ . Вміст оксиду алюмінія в алунітах не більше 20%.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

### 1.3. Методи одержання глинозему.

Вперше термін металічний алюміній на практиці отримав Г. Ерстед у 1825 році, суть хімічного методу полягала в відновленні хлориду алюмінію амальгамою калія. Метод був поліпшений у 1856 році і алюміній отримували відновленням подвійної солі  $\text{AlCl}_3 \times \text{NaCl}$  металічним натрієм. Інший метод виробництва алюмінію запровадив Н.Н. Бекетов у 1865 році, отримання алюмінію проводилось відновленням кріоліту  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  магнієм. За допомогою хімічних методів, які застосовувалися до 1890 року всього за 35 років виробництва було добуто близько 200 тон алюмінію.

Основаючись на матеріалах робіт А.Сент-Клера Девіля (1856 року), Н.Еру і Ч.Холл в 1886 році винайшли метод виробництва алюмінію електролізом розплаву глинозему в кріоліті. Застосовуючи цей метод промислове виробництво алюмінію зробила великий стрибок, з 5,7 тисяч тон у 1990 році до 20 мільйонів тон (без ССРСР) у 1980 році.

П.П. Федотьев разработал теоретичні основи електролізу системи "глинозем-кріоліт", а також розчинення алюмінію в електроліті, анодний ефект та інші аспекти процесу. К.І. Байер відкрив 'мокрый' метод, добування глинозему за допомогою вилугування руд. Д.Н. Пеняков в 1895 році ввів метод виробництва глинозема із бокситів спіканням сульфату натрію в присутності вугілля. А.І.Кузнецов і Є.І.Жуковський в 1915 році запровадили метод, який застосовує алюмінієві руди низької якості через відновлюючу плавку повертає певні параметри.

### 1.4. Фізико-хімічні основи і технологія процесу виробництва глинозему методом спікання

В основі метода спікання наявний процес утворення алюмінатів натрію (калію у випадку коли використовуємо нефеліни) в результаті при взаємодії високої температури оксиду алюмінію руди з карбонатами металу та подальшим вилужуванням алюмінатів водою, розкладанням оксиду вуглецю.

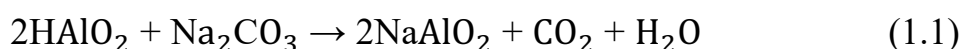
					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						10
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Карбонат залежний від вмісту у руді компонента натрію, тому що для процесу спікання бокситів використовується суміш карбонатів натрію і кальцію, якщо використовуємо нефеліни, які мають в своєму складі оксиди натрію і калію, лише оксид кальцію. Карбонат кальцію виступає в ролі з'єднувача, котрий зв'язує оксид кремнія та зменшує витрати карбонату натрію при спіканні бокситів.

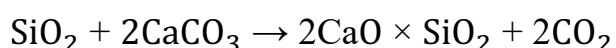
Процес виробництва глинозему який придатний для переробки всіх видів алюмінієвої сировини вважається процес спікання. Практика показує, що зазвичай використовують нефеліни та боксити з високим вмістом кремнію. Всі вони йдуть в наступному порядку:

1)Здрібнювання алюмінієвої руди та вапняку, мокрий розмел шихти в содовому розчині та коригування складу пульпи;

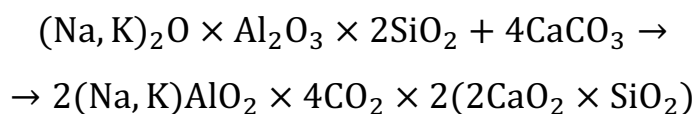
2)Спікання пульпи за температури 1300 °С :  
за реакцією (1.1) – метало-алюмінієва кислота та карбонат натрію або за реакцією (1.2) – гідрооксид алюмінію та карбонат



і утворенням дикальційсилікату



у випадку нефелінів



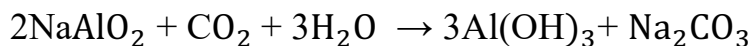
Процес спікання відбувається у твердій фазі, заключається в приникненні частинок одного реагента в кристалічну решітку іншого. Швидкість спікання визначається швидкістю міжкристалічної дифузії, яка в свою чергу зростає від збільшення температури. Прискорити процес спікання можливо при розплавленні легкоплавких композиторів шихти, також утворення рідкої фази. Відпрацьовані гази містять до 10 – 12% оксиду вуглецю.

3)Дробленням утвореного спека та вилугуванням з нього водою алюмінатів натрію і калію;

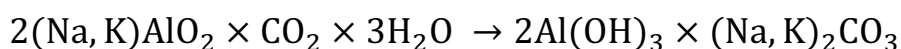
					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						11
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4)Знекремнення розчину – видалення з розчину алюмінатів непрореагованого оксиду алюмінію і домішок оксиду силіцію у вигляді білого шламу, що повертається в процес;

5)Карбонізація розчину алюмінатів дією оксиду вуглецю і осадження гідроксиду алюмінію по реакції:



При карбонізації розчину, отриманий обробкою нефелінів, отримуємо побічний продукт у вигляді суміші карбонатів натрію і калію, котрий носить назву ”содопродукт”:



Содопродукт на 85% складається із карбонату натрію та 15% із карбонату калію. Маточний розчин наявний в карбонатах також упарюється, повертається на етап мокрого подрібнення, чи з нього йде вилучення твердого содопродукту.

6)Відділення гідроксиду алюмінію від маточного розчину та промивка водою.

7)Кальцинація гідроксиду алюмінію при 1200°C:



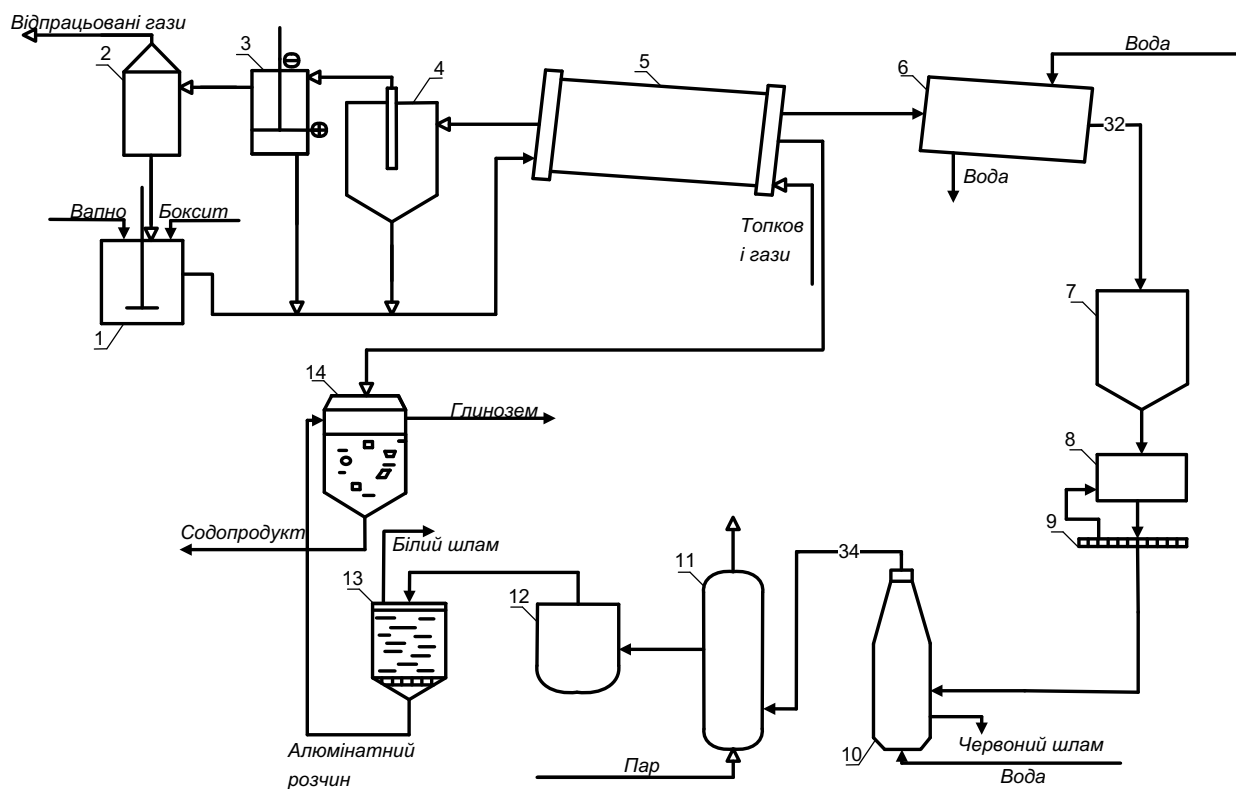
Глинозем отриманий методами Байєра та спікання має однакові вимоги до чистоти і фізико-хімічний характеристик. Шлам, отриманий після очистки алюмінатного розчину, перероблюється в портландцемент. З 1 тонни оксиду алюмінію в руді, утворюється близько 1 тонни содо продукту та 7-8 тонн цементу. На малюнках 1.4 зображено принципова та на малюнку 1.5 технологічна схеми виробництва глинозему із бокситів методом спікання.

Шихта зі змішувача 1 надходить у трубчасту піч спікання 5. Утворений спек охолоджується в трубчатому холодильнику 6 і нагромаджується у бункері 7, звідки надходить у дробарку 8 , а з неї у грохот-9. Після грохоту продукт подібної дисперсності спрямовується в батарею вилужувачів 10, куди надходить вода та слабкий зворотній розчин алюмінату натрію. Тут відокремлюються червоний шлам, а алюмінатний розчин спрямовується в

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						12
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

автоклав знекремнення 11, який обігрівается гострою парою 180С. Відтак, пройшовши загусник 12 і фільтр 13, на якому відокремлюється білий шлам, алюмінатний розчин надходить у карбоні затор 14, куди з печі спікання надходить газ, що містить оксид вуглецю(IV).

Гідроксид алюмінію, що випадає з розчину, відокремлюється і після проходження спрямовується на кальцинування, а розчин карбонатів натрію та кальцію після відокремлення спрямовується на приготування в шихту. Газу що відходять із печі спікання проходять через циклон 4, електрофільтр 3, і скруббер-осаджувач 2, де звільняється від пилу який повертається в процес, і викидається в атмосферу.



Малюнок 1.1. Технологічна схема виробництва глинозему методом спікання

1 – змішувач шихти; 2 – скруббер-осаджувач пилу; 3 – електрофільтр; 4 – циклон;  
5 – трубчаста піч спікання; 6 – трубчастий холодильник; 7 – бункер спеку; 8 – дробарка; 9 – грохот; 10 – вилужувач; 11 – автоклав знекремнення; 12 – загусник; 13 – фільтр білого шлам ; 14 – карбонізатор;

### 1.5.Обґрунтування вибору апарату для математичного моделювання

Основними апаратами у даному технологічному процесі являється піч спікання, вилужувач та карбонізатор. Трубчаста піч має діаметр 3 – 5 метрів і довжину 50 – 185 метрів, обертається, обігрівается топковими газами. У робочій зоні печі підтримується температура 1200 – 1300 °С. Гази вмістом 12% оксиду вуглецю подаються на карбонізатор, використовуються для карбонізації алюмінатного розчину.

Для вилуговування спеку є декілька різних апаратів: дифузори, перколятери, трубчасті вилужувачі. Найуживаніші серед них – дифузори представляють собою циліндричні апарати, мають конічну верхню частину висота її складає 5 метрів, діаметр 1,5 метра, забезпечені системою трубопроводів, якими протікає вилуговувальна рідина. У Верхню частину апарату поступає суміш алюмінію, а червоний шлам відходить у нижню кришку апарата. Дифузори об'єднуються в батареї по 10 – 12 апаратів, працюючих за принципом протитечі.

Карбонізатор – циліндр з конічним дном діаметром 11 метрів і загальною висотою 16 метрів, ємністю приблизно 600 м<sup>3</sup>. Топкові гази надходять в конічну частину апарату через барботажний пристрій і змішує пульпу, котра аероліфтом піднімається вгору.

У якості апарату було обрано топкову піч, оскільки у цьому об'єкті йдуть важливі фізико-хімічні перетворення і оскільки він розташований на початку процесу, має вагомий вплив в подальших перетвореннях.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						14
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

## Розділ 2. РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ГЛИНОЗЕМУ МЕТОДОМ СПІКАННЯ

### 2.1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

На підставі здійсненого аналізу особливостей технологічного процесу виробництва глинозему методом спікання необхідно забезпечити такий рівень автоматизації виробництва:

контроль і регулювання витрати бокситу та вапна, що надходить в змішувач шихти 1,

контроль і регулювання витрати пульпи, що надходить в трубчасту піч 5,

контроль і регулювання витрати води на вході в трубчастий холодильник 6,

контроль і регулювання витрати води та слабого алюмінатного розчину на вході в вилужувач 10,

контроль і регулювання витрати алюмінатного розчину на вході в карбонізатор 14,

контроль і регулювання витрати топкового газу на вході в карбонізатор 14,

контроль витрати глинозему на виході із карбонізатора 14,

контроль і регулювання витрати алюмінатного розчину на вході в автоклав знекремнення 11,

контроль і регулювання витрати спеку, що надходить в бункер 7,

контроль і регулювання витрати спеку, що надходить в дробарку 8,

контроль витрати оксиду вуглецю на вході в трубчасту 15сє 6,

контроль і регулювання витрати спеку, що надходить в вилужувач 10,

контроль і регулювання витрати топкового газу на вході в трубчасту піч 5,

контроль та сигналізація температури продукту в карбонізаторі 14,

контроль і регулювання температури топкових газів на вході в трубчасту піч 5,

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						15
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

контроль і регулювання температури пари в автоклаві знекремнення 11,  
 контроль та сигналізація температури спеку на виході із трубчастого  
 холодильника 6,  
 контроль та сигналізація рівня спеку в бункері спеку 7,  
 контроль та сигналізація рівня розчину в змішувачі 1,  
 контроль та сигналізація рівня алюмінатного розчину в фільтрі білого шламу  
 13,  
 контроль та сигналізація рівня розчину в 16єстру вальни 14,  
 контроль та сигналізація концентрації газу на виході із трубопровода 48,  
 контроль та сигналізація тиску в трубопроводах 1, 1, 28,29.

Параметри контролю та регулювання виробництва наведено у Табл.2.1.

Таблиця 2. 1. – Параметри контролю та керування виробництвом

№ п/п	Найменування ста- дії процесу (технологічний об'єкт), місце зміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюєть- ся	Норми техно- логічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Боксит, трубопровід 29	Витрата	-	Контроль, регулювання
2	Вапно, трубопровід 28	Витрата	-	Контроль, регулювання
3	Пульпа, трубопровід 30	Витрата	-	Контроль, регулювання
4	Топкові газы, трубчаста піч 5	Температура	1300°C	Контроль, регулювання



5	Алюмінатний розчин, фільтр білого шламу 13	Рівень	-	Контроль, сигналізація
6	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль, регулювання
7	Спек, трубопровід 32	Температура	-	Контроль, сигналізація
8	Спек, бункер спеку 7	Рівень	-	Контроль, сигналізація
9	Емульсія, змішувач 1	Рівень	-	Контроль, сигналізація
10	Алюмінатний розчин, трубопровід 34	Витрата	-	Контроль, регулювання
11	Алюмінатний розчин, автоклав знекремнення 11	Температура	180°C	Контроль, регулювання
12	Алюмінатний розчин, карбоні затор 14	Рівень	-	Контроль, регулювання
13	Алюмінатний розчин, трубопровід 38	Витрата	-	Контроль, регулювання
14	Глинозем, трубопровід 40	Витрата	-	Контроль
15	CO <sub>2</sub> , трубопровід 39	Концентрація	0,5%	Контроль, сигналізація

16	Алюмінатний розчин, карбонізатор 14	Температура	1300°C	Контроль, сигналізація
17	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль, регулювання
18	Боксит, трубопровід 29	Тиск	-	Контроль, сигналізація
19	Вапно, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
1	2	3	4	5
20	Вода, трубопровід 1	Тиск	-	Контроль, сигналізація
21	Вода, трубопровід 1	Тиск	-	Контроль, сигналізація
22	Спек, бункер спеку 7	Витрата	-	Контроль, регулювання
23	Спек, бункер спеку 7	Витрата	-	Контроль, регулювання
24	Спек, бункер спеку 7	Витрата	-	Контроль, регулювання
25	Топкові гази, трубопровід 31	Витрата	-	Контроль

## 2.2. Опис розробленої схеми автоматизації технологічного процесу

Схема автоматичного контролю та реєстрування виробництва глинозему включає в себе ряд контурів контролю, регулювання, блокування і сигналізації. Для нормальної роботи технологічного устаткування, мінімізації людської роботи на об'єктах з підвищеною небезпекою, збільшення продуктивності та якості продукції, контролю та реєстрації параметрів. Схема

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						18
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

автоматизації включає контури автоматичного контролю та регулювання режимних параметрів технологічного процесу, наведена на кресленні ДП.ЛА-5118.0001.Сх.А. Зменшена копія функціональної схеми автоматизації представлена на Рис.2.1.

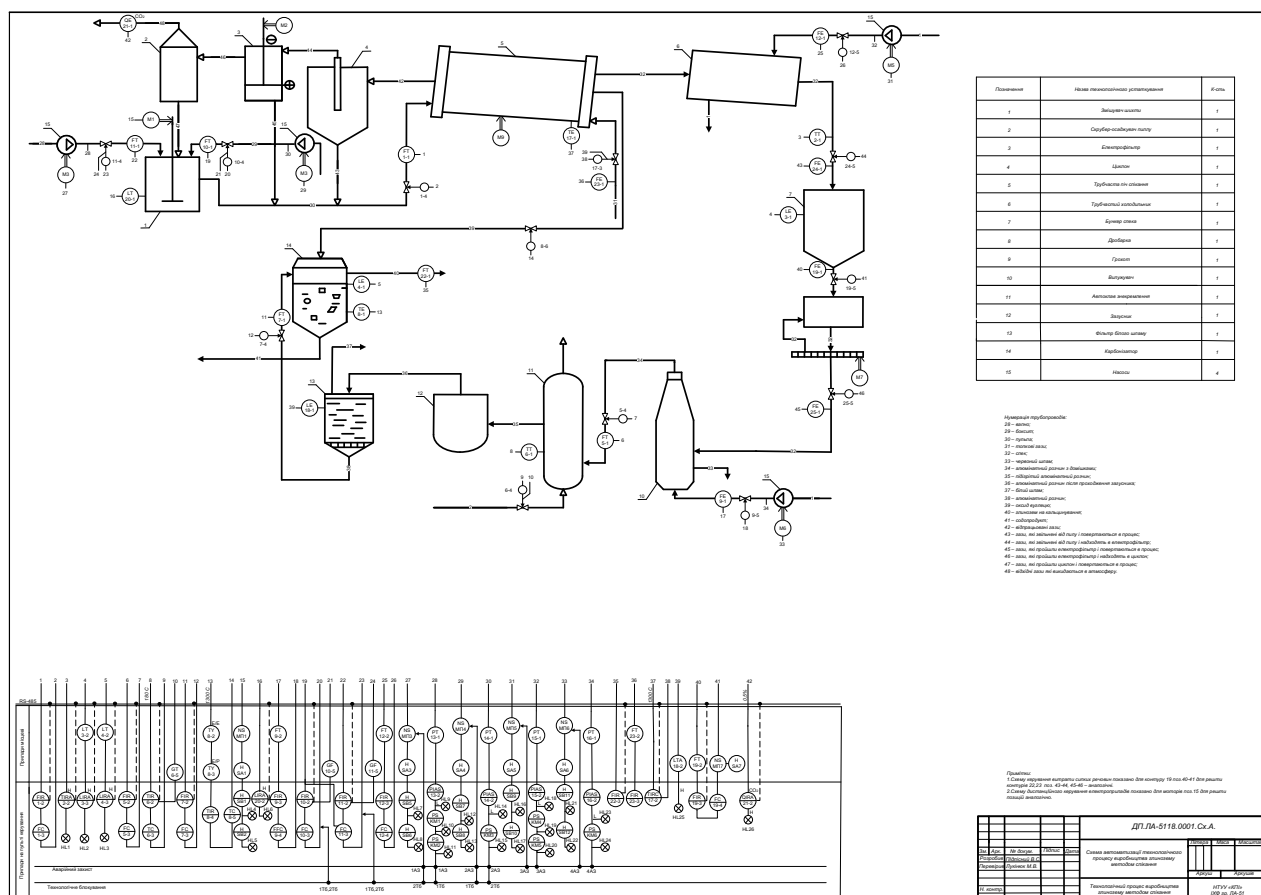


Рис.2.1. Функціональна схема автоматизації технологічного процесу для виробництва глинозему методом спікання

Контур 1 застосовують для контролю, реєстрування та регулювання витрати пульпи в трубопроводі 30. Контур містить: (1-1) – Витратомір електромагнітний; (1-2) – Прилад вторинний, показувальний, реєструвальний; (1-3) – Блок регулювальний електричний; (1-4) – Регулювальний сидельний клапан.

Для контролю та реєстрування температури спеку, в трубопроводі 32 розроблено контур 2, що складається: (2-1) – термоелектричний перетворювач; (2-2) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із вбудованим пристроєм сигналізації; HL1 – лампа електрична сигнальна.

Контроль, реєстрування та сигналізація рівня у бункері спеку 7

забезпечує контур 3, який включає: (3-1) – Детектор сигналізатора іонізаційного; (3-2) – Блок обробки інформації сигналізатора; (3-3) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із вбудованим пристроєм сигналізації; HL2 – лампа електрична сигнальна.

Для контролю, реєстрування та сигналізації рівня розчину, що знаходиться в карбонізаторі 14 розроблено контур 4, що складається: (4-1) – Детектор сигналізатора іонізаційного; (4-2) – Блок обробки інформації сигналізатора; (4-3) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із вбудованим пристроєм сигналізації; HL3 – лампа електрична сигнальна.

Контур 5 контролює, реєструє та регулює витрату алюмінатного розчину в трубопроводі 34, включає : (5-1) – Витратомір електромагнітний; (5-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (5-3) – Блок регулювальний електричний; (5-4) – Регулювальний сідельний клапан.

Контроль, реєстрування та регулювання температури алюмінатного розчину, що проходить автоклав знекремнення 11, забезпечує контур 6, який включає: (6-1) – Термoeлектричний перетворювач; (6-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (6-3) – Блок регулювальний електричний; (6-4) – Регулювальний сідельний клапан; (6-5) – Позиціонер безконтактний з датчиком положення робочого органу виконавчого механізму.

Для контролю, реєстрування та регулювання витрати алюмінатного розчину в трубопроводі 38 розроблено контур 7, що складається: (7-1) – Витратомір електромагнітний; (7-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (7-3) – Блок регулювальний електричний; (7-4) – Регулювальний сідельний клапан.

Контур 8 контролює, реєструє та регулює температуру топкових газів, що знаходяться в карбонізаторі 14 та включає: (8-1) – Термoeлектричний перетворювач платино-родій; (8-2) – Перетворювач нормувальний; (8-3) – Перетворювач електропневматичний (8-4) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (8-5) – Блок регулювальний електричний; (8-6) – Регулювальний сідельний клапан.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						20
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Контроль, реєстрування та регулювання витрати води в трубопроводі 1 забезпечує контур 9, який включає: (9-1) – Діафрагма камерна; (9-2) – Дифманометр безшкальний пневматичний; (9-3) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (9-4) – Регулятор пневматичний; (9-5) – Механізм виконавчий мембранний пневматичний.

Контур 10 контролює, реєструє та регулює витрату бокситу в трубопроводі 29 та включає: (10-1) – Витратомір електромагнітний; (10-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (10-3) – Блок регулювальний електричний; (10-4) – Регулювальний сидельний клапан; (10-5) – Позиціонер безконтактний з датчиком положення робочого органу виконавчого механізму.

Для контролю, реєстрування та регулювання витрати вапна в трубопроводі 28, розроблено контур 11, що складається: (11-1) – Витратомір електромагнітний; (11-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (11-3) – Мікропроцесорний універсальний; (11-4) – Регулювальний сидельний клапан; (11-5) – Позиціонер безконтактний з датчиком положення робочого органу виконавчого механізму.

Контур 12 застосовують для контролю, реєстрування та регулювання витрати води в трубопроводі 1. Контур містить: (12-1) – Діафрагма камерна; (12-2) – Дифманометр безшкальний; (12-3) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (12-4) – Регулятор пневматичний; (12-5) – Механізм виконавчий мембранний пневматичний.

Для контролю, сигналізації та блокування тиску в трубопроводі 28, розроблено контур 13, що складається: (13-1) – Вимірювальний тензоперетворювач тиску; (13-2) – Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; КМ1, КМ2 – Реле електромагнітне.

Контур 14 застосовують для контролю, сигналізації та блокування тиску в трубопроводі 29. Контур містить: (14-1) – Вимірювальний тензоперетворювач тиску; (14-2) – Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; КМ3 – Реле електромагнітне.

Для контролю, сигналізації та блокування тиску в трубопроводі 1 розроблено контур 15, що складається: (15-1) – Вимірювальний тензоперетворювач тиску; (15-2) – Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; КМ4, КМ5 – Реле електромагнітне.

Контроль, сигналізацію та блокування тиску в трубопроводі 29 забезпечує контур 16, який включає: (16-1) – Вимірювальний тензоперетворювач тиску; (16-2) – Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; КМ1, КМ2 – Реле електромагнітне.

Для контролю, реєстрування та керування температури топкового газу в печі 5, розроблено контур 17, що складається: (17-1) – Термoeлектричний перетворювач платино-родій; (17-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Для сигналізації рівня розчину, що знаходиться в фільтрі білого шламу 14, розроблено контур 18, що складається: (18-1) – Акустичний датчик ультразвукового сигналізатора рівня; (18-2) – Вторинний перетворювач сигналізатора рівня ультразвукового з світловою індикацією; НЛ25 - лампа електрична сигнальна.

Для контролю, реєстрування та регулювання витрати спеку в трубопроводі 32 розроблено контур 19, що складається: (19-1) – Сенсор витратоміра для вимірювання сипких речовин; (19-2) – Модуль обробки витратоміра для вимірювання витрати; (19-3) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (19-4) – Блок регулювальний електричний; (19-5) – Затвор шлюзовий; МП7 – Магнітний пускач; SA7 – Кнопка запобіжного вимикання.

Для контролю, реєстрування та сигналізації рівню розчину, що знаходиться в змішувач 1, розроблено контур 20, що складається: (20-1) – Радарний рівнемір; (20-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації; НЛ6 - лампа електрична сигнальна.

Контроль та реєстрування концентрації витрати газів в трубопроводі 39,

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						22
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

забезпечує контур 21, який включає: (21-1) – Самокалібрувальний датчик RCO<sub>2</sub>; (21-2) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із пристроєм сигналізації; HL15, HL16 – лампи електричні сигнальні.

Контур 22 застосовують для контролю та реєстрування витрати глинозему в трубопроводі 40. Контур містить: (22-1) – Витратомір електромагнітний; (22-2) – Прилад вторинний, показувальний, реєструвальний.

Контур 23 застосовують для контролю та реєстрування витрати топкових газів в трубопроводі 31. Контур містить: (23-1) – діафрагма камерна; (23-2) – дифманометр безшкальний; (23-3) – прилад вторинний, показувальний, реєструвальний.

Контур 24 застосовують для контролю, реєстрування та регулювання спеку в трубопроводі 32. Контур містить: (24-1) – Сенсор витратоміра для вимірювання сипких речовин; (24-2) – Модуль обробки витратоміра для вимірювання витрати; (24-3) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (24-4) – Блок регулювальний електричний; (24-5) – Затвор шлюзовий; МП7 – Магнітний пускач; SA7 – Кнопка запобіжного вимикання.

Контроль, реєстрування та регулювання витрати спеку в трубопроводі 32 забезпечує контур 25, який включає: (25-1) – Сенсор витратоміра для вимірювання сипких речовин; (25-2) – Модуль обробки витратоміра для вимірювання витрати; (25-3) – Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; (25-4) – Блок регулювальний електричний; (25-5) – Затвор шлюзовий; МП7 – Магнітний пускач; SA7 – Кнопка запобіжного вимикання.

## **2.3. Дистанційне керування і аварійний захист електричних двигунів**

### **2.3.1. Постановка задачі з керування і захисту електродвигунів в схемі процесу виробництва глинозему методом спікання**

Електродвигуни використовуються в різних технологічних процесах на багатьох підприємствах. Вони мають механічну та електричну систему захисту. У виробництві насоси контролює технічний персонал згідно роботи

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						23
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

процесу. Для технологічного процесу виробництва глинозему методом спікання, розробка системи аварійного захисту та технологічних блокувань є важливою частиною процесу, оскільки вони виконують роль транспортування рідин та речовин у технологічні об'єкти.

Включення електродвигуна відбувається при натисканні кнопки запуску, спрацьовує магнітний пускач і замикається нормально розімкнений контакт, котрий замикає ланцюг магнітного пускача. Також замикаються три контакти живлення електродвигуна і спрацьовує сигналізація включення магнітного пускача. Далі розмикається нормально замкнений контакт сигналізації виключення магнітного пускача. Також електродвигун передбачає термічний захист, який призводить до його відключення при перегріванні, а також плавкий запобіжник.

Система автоматичного управління електродвигунами в даному процесі передбачає: автоматичне відключення мотору від живлення у разі помилки чи під час аварії, та технологічне блокування решти двигунів, закриття регулювальних клапанів в зв'язку з цим припинення подачі сировини, поки не відновлять електромотор та здійснять подачу тиску в межах норми для розблокування клапана, що дає можливість відновити подачу сировини.

Під час проектування креслення аварійного захисту електромоторів потрібно обрати плату КБЗ яка підключена до ІТМ-11. Оскільки плати має різні контакти у вигляді твердотілих реле, які дозволяють підключити дискретний сигнал у вигляді постійного струму і величиною 24V (плата КБЗ-17К-01), або подавати на контакти реле з напругою 220V (плата КБЗ-17Р-01), також є КБЗ дискретний сигнал якого подається на тиристор.

### **2.3.2. Принципова електрична схема дистанційного керування і аварійного захисту насосів**

Принципова електрична схема дистанційного керування та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань процесу виробництва глинозему методом спікання зображена на кресленні ДП.ЛА5118.0002 Сх.Е. Зменшене креслення знаходиться на Рис.2.2.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						24
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



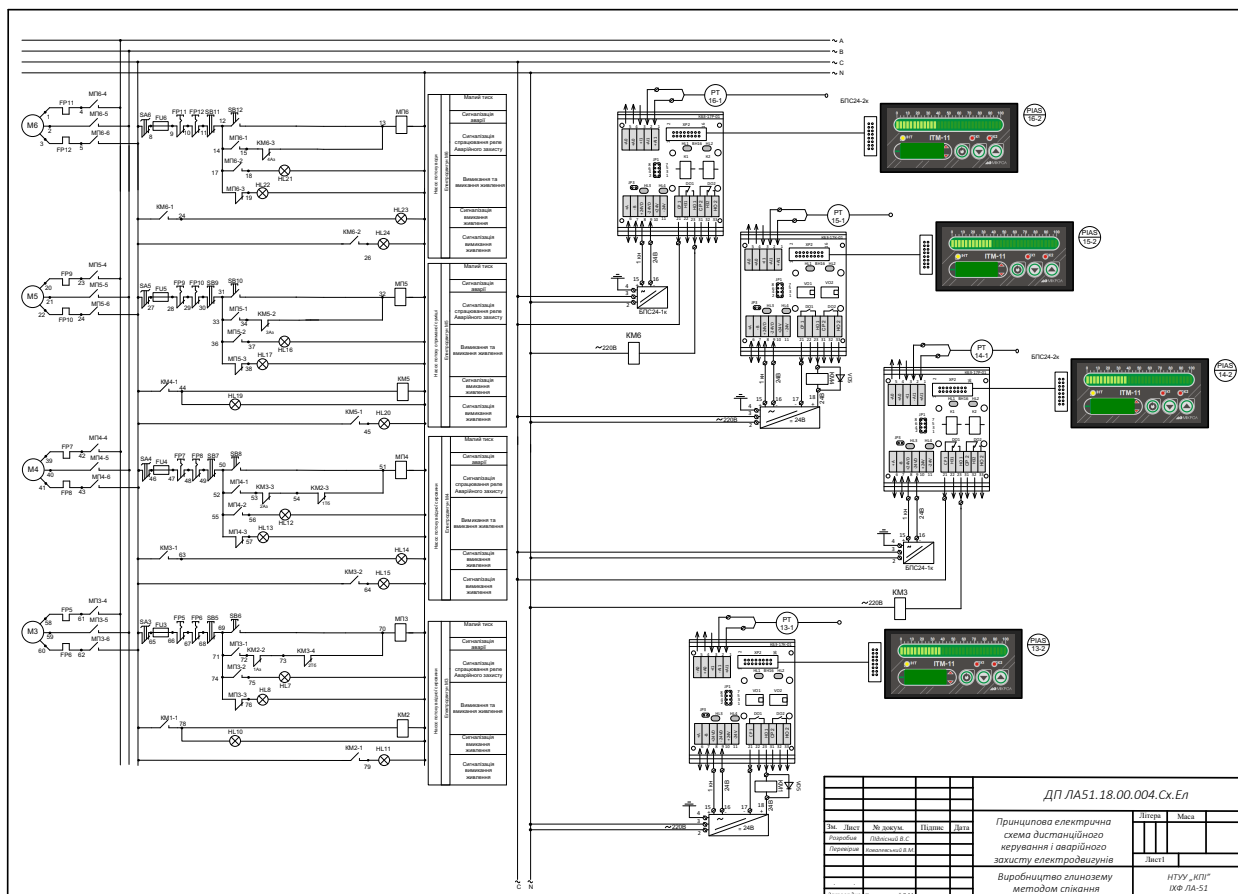


Рис.2.2. Принципова електрична схема дистанційного керування та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань процесу виробництва глинозему методом спікання.

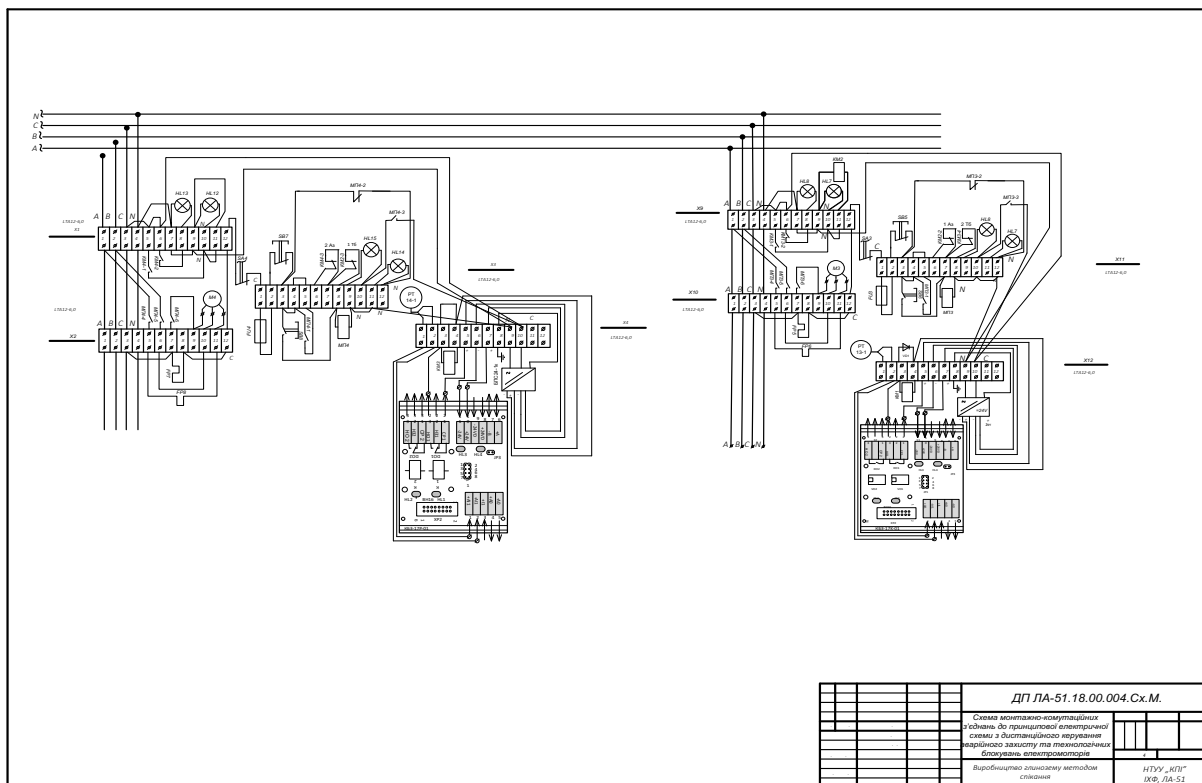
Під час роботи відцентрових насосів може відбуватися потрапляння твердих частинок між корпусом насоса та крильчаткою. Що призводить до зупинки крильчатки і двигуна, та спричиняє його вихід із ладу. У таких випадках повинен спрацювати механічний захист, а саме шпонка між крильчаткою і валом зрізається. Що зумовлює збільшення кількості електродвигуна, тому що відсутній протидіючий момент навантаження. Ці фактори приводять в дію електричний захист, який передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна. Рекомендується через твердотіле реле ІТМ-11 під'єднувати електромагнітне реле, яке спрацьовує при напрузі 24 В від джерела постійного струму.

Розглянемо роботу електромоторів на прикладі МПЗ. При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт КМ1-1 та утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ2. Реле КМ2 спрацьовує,

внаслідок чого перемикаються його контакти. Спрацьовуючи реле КМ1-1 замикається і вмикається червона лампочка HL10, яка сповіщає про ввімкнення аварійного реле захисту. Інший контакт аварійного реле КМ2-1 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МПЗ. Після проведення технічного обслуговування відцентрованого насоса, живлення електродвигуна МПЗ, включається натисканням на SB6. Оскільки тиск у насосі не створюється миттєво, кнопку потрібно утримувати, поки не погасне червона сигнальна лампочка HL10, коли вона погасне відпускаємо кнопку. Ланцюг живлення електромагніту МП2 проходить через контакти МПЗ-1, КМ2-1, КМ3-4.

### 2.3.3. Монтажно-комутаційне з'єднання пристроїв для схеми управління та аварійного захисту електродвигунів

Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань знаходиться на кресленні ДП.ЛА-5118.0003Сх.М. Зменшене креслення знаходиться на Рис.2.3.



Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

ДП.ЛА5118.ПЗ

Лист

26

Рис.2.3. Монтажно-комутаційне з'єднання пристроїв для схеми управління та аварійного захисту електродвигунів.

**Клемна колодка X1 LTA12-6.0:**

До контактів 1, 2, 3, 4 підведені три фази силової мережі і нуль;

До контактів 6, 8 приєднано нормально розімкнений контакт реле КМ4-2;

До контактів 7, 8 приєднано лампочку HL13;

До контактів 9, 10 приєднано лампочку HL13;

До контактів 5, 10 приєднано реле КМ4-1;

**Клемна колодка X2 LTA12-6.0:**

До контактів 9, 10, 11 підключено електродвигун М2;

До контактів 7, 8 приєднаний автоматичний вимикач FP7;

До контактів 5, 11 приєднаний автоматичний вимикач FP8;

До контактів 7, 9 приєднаний контакт магнітного пускача МП3-6;

**Клемна колодка X3 LTA12-6.0:**

До контактів 1, 2 приєднаний плавкий запобіжник FU4;

До контактів 2, 3 приєднано кнопку “СТОП” SB7;

До контактів 3, 8 приєднано кнопку “ПУСК” SB8;

До контактів 4, 5 приєднано нормально розімкнутий контакт магнітного пускача МП4-1;

До контактів 6, 7 приєднано нормально замкнутий контакт реле КМ4-3;

До контактів 7, 8 приєднано нормально замкнутий контакт реле КМ2-3;

До контактів 9, 10 приєднано лампочку HL15;

До контактів 10, 12 приєднано нормально замкнутий контакт магнітного пускача МП4-3;

До контактів 11, 12 приєднано лампочку HL14;

До контактів 8, 9 приєднано магнітний пускач МП4;

**Клемна колодка X4 LTA12-6.0:**

До контактів 1, 2 приєднаний вимірювач тиску РТ14-1;

До контактів 3, 4 приєднано реле КМ3;

До контактів 5, 6, 7 приєднано плату КБЗ-17Р-01;

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						27
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

До контактів 9, 10 приєднано блок перетворення сигналів;

#### 2.3.4. Опис роботи технологічної сигналізації та блокування

Функціональна схема технологічних блокувань сигналу до регулювального клапана знаходиться на кресленні ДП.ЛА-5118.0004Сх.Б. Зменшене креслення знаходиться на Рис.2.4.

Технологічні блокування спрацьовує при виникненні аварійної ситуації, а саме коли значення вимірювального параметру виходять за межі норми, тобто значення параметру вище або нижче від заданого діапазону. Прикладом цього може бути ситуація (розглядаємо мотор М3): Аварійна сигналізація індикується на приладі 10-2, сам перемикач змінює положення. Від цього спрацьовує реле КМ2, що призводить до розмикання контакту КМ2-1, який відключає зелену лампу НL11. Замикається контакт КМ1-1, вмикається лампа червоного кольору НL10. Після технічного обслуговування, контакти перемикаються та відключається захист.

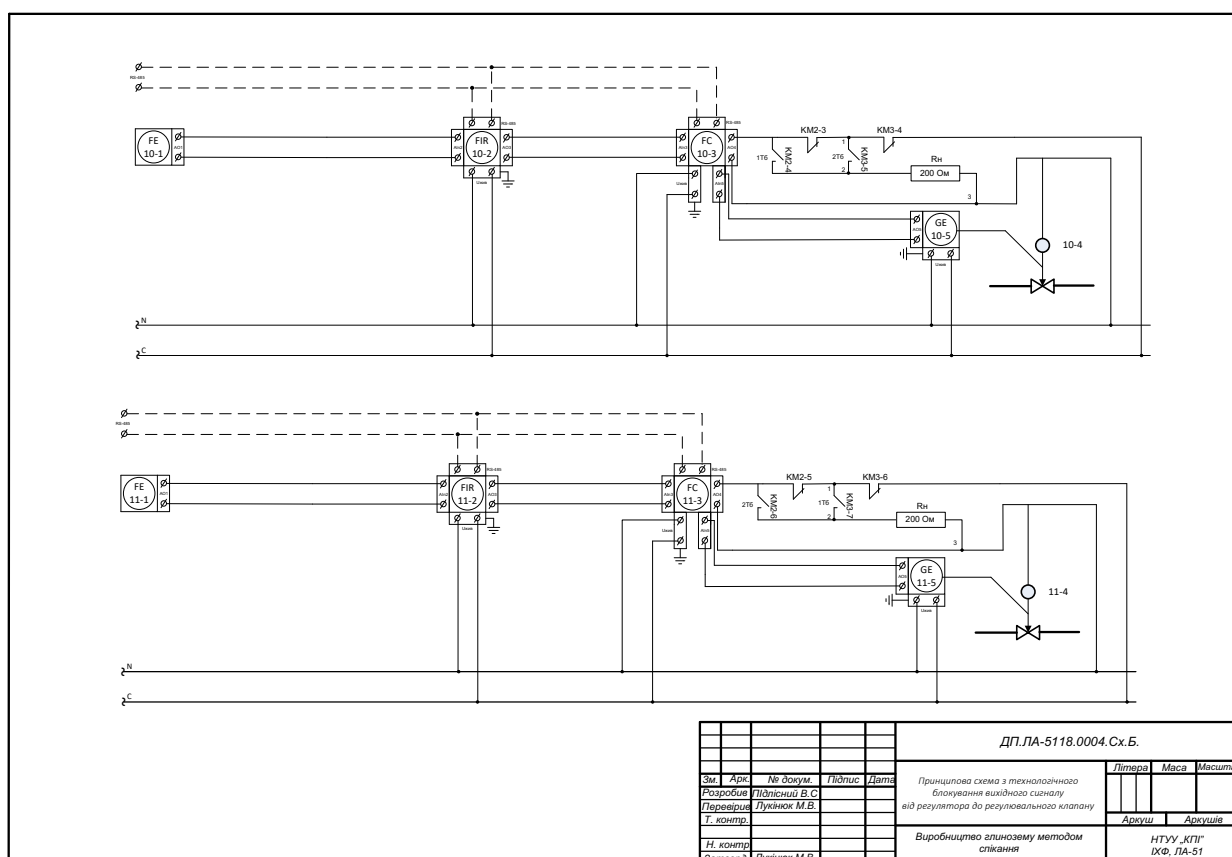


Рис.2.3. Функціональна схема технологічних блокувань сигналу до регульовального

клапана.

Блокування виконується коли на вихід з насосу М3, М4 тиск не подається. Тоді контакт автоматичного блокування замикається, починає працювати світова індикація, та спрацьовує реле. Нормально замкнуті реле відключаються.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						29
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

### Розділ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРУБЧАСТОЇ ПЕЧІ

Основним регульовуваним параметром, що характеризує стан трубчастої печі, візьмемо витрату ( $F_{\Pi}$ ) оскільки вона значно впливає на перебіг процесу в подальшому, а перевищення чи заниження його допустимого значення може призвести до необоротних наслідків, що дадуть нам неякісну продукцію. Проміжними величинами є температура газів на виході з апарату ( $\Theta_{\text{вг}}$ ), температура спеку на виході ( $\Theta_{\text{с}}$ ) та вологість топкових газів на виході ( $W_{\text{вг}}$ ).

В свою чергу вологість суміші на вході також має свій вплив, але менш значний. Виходячи з цього, вологість суміші буде збурюючим фактором.

#### Аналіз контуру на відповідність одній із типових ланок

##### Математична модель ТОК

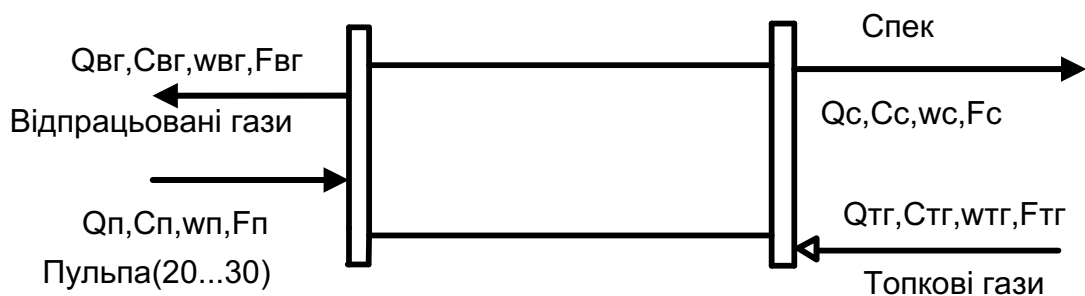


Рис. 3.1. Розрахункова схема трубчастої печі

На схемі трубчастої печі (рис.2) позначені наступні технологічні параметри:

$F_{\text{с}}$  – витрата спеку на виході, кг/год;

$F_{\Pi}$  – витрата пульпи на вході, кг/год;

$F_{\text{тг}}$  – витрата топкових газів на вході, кг/год;

$F_{\text{вг}}$  – витрата вихідних газів на виході, кг/год;

$\Theta_{\text{с}}$  – температура спеку на виході, °C;

$\Theta_p$  – температура пульпи на вході, кг/год, °С;  
 $\Theta_{тг}$  – температура топкових газів на вході, °С;  
 $\Theta_{вг}$  – температура вихідних газів на виході, кг/год, °С;  
 $C_p$  – питома теплоємність пульпи, кДж/(кг °С);  
 $C_c$  – питома теплоємність спеку, кДж/(кг °С);  
 $C_{тг}$  – питома теплоємність топкових газів, кДж/(кг °С);  
 $C_{вг}$  – питома теплоємність вихідних газів, кДж/(кг °С);  
 $w_c$  – вологість спеку на виході, кг/кг;  
 $w_p$  – вологість пульпи на вході, кг/кг;  
 $w_{тг}$  – вологість топкових газів на вході, кг/кг;  
 $w_{вг}$  – вологість вихідних газів на виході, кг/кг;

Це об'єкт з нерозподіленими параметрами. При моделюванні статичного та динамічного режиму трубчастої печі такі припущення:

1. Втрати тепла в навколишнє середовище незначні, поглинаються стінками трубчастої печі, тому знехтуємо ними.
2. Випарювання відбувається при різних температурах.
3. Температура топкових газів на виході дорівнює температурі в апараті.
4. Витрати пульпи та спеку є однаковими, оскільки скільки матеріала зайшло в піч , стільки і вийшло.
5. Витрати вихідних газів, дорівнює сумі топкових газів та вологи, яка перейшла з пульпи в газову складову.

Таблиця 3.1. Основні параметри статичного режиму

№ п/п	Назва параметру	Позначення	Одиниці вимірювання	Числові значення
1	Витрата спеку на виході	$F_c$	кг/год	3560
2	Витрата пульпи на вході	$F_p$	кг/год	3560

3	Витрата топкових газів на вході	$F_{\text{тг}}$	кг/год	3850
4	Витрата вихідних газів на виході	$F_{\text{вг}}$	кг/год	3950
5	Температура спеку на виході	$\Theta_{\text{с}}$	°C	1200
6	Температура пульпи на вході	$\Theta_{\text{п}}$	°C	30
7	Температура топкових газів на вході	$\Theta_{\text{тг}}$	°C	1250
8	Температура вихідних газів на виході	$\Theta_{\text{вг}}$	°C	1200
9	Питома теплоємність газової фази	$C_{\text{г}}$	кДж/(кг·°C)	1,97
10	Вологість спеку на виході	$w_{\text{с}}$	кг/кг	0,095
11	Вологість пульпи на вході	$w_{\text{п}}$	кг/кг	0,3
12	Вологість топкових газів на вході	$w_{\text{тг}}$	кг/кг	0,01
13	Вологість вихідних газів на виході	$w_{\text{вг}}$	кг/кг	0,09
14	Густина газової фази	$\rho_{\text{гф}}$	кг/м <sup>3</sup>	25.4
15	Питома вага твердої фази	$\rho_{\text{твф}}$		
16	Скрита теплота пароутворення	$r$	кДж/кг	2200
17	Об'єм газової фази	$V_{\text{гф}}$	м <sup>3</sup>	1,7
18	Об'єм твердої фази	$V_{\text{тф}}$	м <sup>3</sup>	7,9
19	Питома теплоємність спеку	$C_{\text{с}}$	кДж/(кг·°C)	1,1097
20	Питома теплоємність пульпи	$C_{\text{п}}$	кДж/(кг·°C)	1,1097
21	Питома теплоємність топкових газів	$C_{\text{тг}}$	кДж/(кг·°C)	1,97
22	Питома теплоємність вихідних газів	$C_{\text{вг}}$	кДж/(кг·°C)	1,97



## Рівняння теплових чи/і матеріальних балансів

Прийmemo витрату пульпи  $F_n$ , що входить в піч за одиницю часу рівною до витрати спеку  $F_c$ , оскільки та сировина, що зайшла в піч дорівнює тій, що виходить :

$$F_n = F_c$$

Також  $F_{\text{вг}}$  витрата вихідних газів, дорівнює сумі топкових газів та 2% вологи, яка перейшла з пульпи в газову складову .

$$F_{\text{вг}} = F_{\text{мг}} + 0.2F_n \cdot (w_n - w_c)$$

Тепловий баланс для топкових газів в статичному режимі:

$$F_{\text{мг}} \cdot C_{\text{мг}} \cdot Q_{\text{мг}} - F_{\text{вг}} \cdot C_{\text{вг}} \cdot Q_{\text{вг}} - (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = 0 \quad (1)$$

$$F_{\text{вг}} = F_{\text{мг}} + 0.2F_n \cdot (w_n - w_c) \quad (2)$$

$$F_n = F_c \quad (3)$$

Матеріальний баланс твердої фази в статичному режимі:

$$F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c - (F_{\text{вг}} \cdot w_{\text{вг}} - F_{\text{мг}} \cdot w_{\text{мг}}) = 0, \quad (4)$$

$$F_{\text{вг}} = F_{\text{мг}} + 0.2F_n \cdot (w_n - w_c),$$

$$F_n = F_c$$

Матеріальний баланс для топкових газів в статичному режимі:

$$F_{mz} \cdot w_{mz} - F_{\text{вз}} \cdot w_{\text{вз}} + (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = 0 \quad (5)$$

$$F_{\text{вз}} = F_{mz} + 0.2F_n \cdot (w_n - w_c),$$

$$F_n = F_c$$

Тепловий баланс для твердої фази в статичному режимі:

$$F_n \cdot C_n \cdot Q_n - F_c \cdot C_c \cdot Q_c - (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = 0 \quad (6)$$

$$F_{\text{вз}} = F_{mz} + 0.2F_n \cdot (w_n - w_c),$$

$$F_n = F_c$$

Тепловий баланс для топкових газів в динамічному режимі:

$$F_{mz} \cdot C_{mz} \cdot Q_{mz} - F_{\text{вз}} \cdot C_{\text{вз}} \cdot Q_{\text{вз}} - (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = V_z \cdot p_z \cdot c_z \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{Q_{\text{вз}} + Q_{mz}}{2} \right) \quad (7)$$

Матеріальний баланс твердої фази в динамічному режимі:

$$F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c - (F_{\text{вз}} \cdot w_{\text{вз}} - F_{mz} \cdot w_{mz}) = V_{m\text{вф}} \cdot p_{m\text{вф}} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{w_n + w_c}{2} \right), \quad (8)$$

Матеріальний баланс для топкових газів в динамічному режимі:

$$F_{mz} \cdot w_{mz} - F_{\text{вз}} \cdot w_{\text{вз}} + (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = V_z \cdot p_z \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{w_{\text{вз}} + w_{mz}}{2} \right) \quad (9)$$

Тепловий баланс для твердої фази в динамічному режимі:

$$F_n \cdot C_n \cdot Q_n - F_c \cdot C_c \cdot Q_c - (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = V_{\text{меш}} \cdot p_{\text{меш}} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{Q_n + Q_c}{2} \right)$$

Отримуємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} F_{m2} \cdot C_{m2} \cdot Q_{m2} - F_{\theta2} \cdot C_{\theta2} \cdot Q_{\theta2} - (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = V_z \cdot p_z \cdot c_z \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{Q_{\theta2} + Q_{m2}}{2} \right) \\ F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c - (F_{\theta2} \cdot w_{\theta2} - F_{m2} \cdot w_{m2}) = V_{\text{меш}} \cdot p_{\text{меш}} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{w_n + w_c}{2} \right) \\ F_{m2} \cdot w_{m2} - F_{\theta2} \cdot w_{\theta2} + (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = V_z \cdot p_z \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{w_{\theta2} + w_{m2}}{2} \right) \\ F_n \cdot C_n \cdot Q_n - F_c \cdot C_c \cdot Q_c - (F_n \cdot w_n - F_c \cdot w_c) \cdot r = V_{\text{меш}} \cdot p_{\text{меш}} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{Q_n + Q_c}{2} \right) \end{cases} \quad (10)$$

### Лінеаризація рівнянь

Диференціальні рівняння (15) та (16) є нелінійними диференціальними рівняннями. Такі рівняння дають математичний опис системи, але вони не придатні для подальшого аналізу й використання. Для отримання лінійних диференціальних рівнянь, за допомогою яких можна встановити відповідні властивості випарника, лінеаризуємо нелінійні диференціальні рівняння (1), (2), (3) та (4) в точках основного статичного режиму.

$$\begin{aligned} w_c &= w_c^0 + \Delta w_c; & w_n &= w_n^0 + \Delta w_n; \\ F_c &= F_{m2}^0 + \Delta F_{m2}; & \theta_{\theta2} &= \theta_{\theta2}^0 + \Delta \theta_{\theta2}; \\ w_{\theta2} &= w_{\theta2}^0 + \Delta w_{\theta2}; & \theta_c &= \theta_c^0 + \Delta \theta_c; \end{aligned}$$

Лінеаризацію виконаємо за допомогою формули:

$$f(\bar{x}) = \frac{df(x_1, x_2 \dots x_n)}{dx_1} \Big|_0 \cdot \Delta x_1 + \frac{df(x_1, x_2 \dots x_n)}{dx_2} \Big|_0 \cdot \Delta x_2 + \dots + \frac{df(x_1, x_2 \dots x_n)}{dx_n} \Big|_0 \cdot \Delta x_n \quad (11)$$

В результаті з перетвореннями за фор (2),(3) отримаємо:

$$\left\{ \begin{aligned}
& \Delta F_{m_2} \cdot (C_{m_2} \cdot Q_{m_2} - C_{\phi_2} \cdot Q_{\phi_2}) - \Delta w_n \cdot (F_n \cdot C_{\phi_2} \cdot Q_{\phi_2} + F_n \cdot r) - \Delta w_c (F_n \cdot C_{\phi_2} \cdot Q_{\phi_2} - F_n \cdot r) - \\
& \quad - \Delta Q_{\phi_2} \cdot (C_{\phi_2} \cdot (F_{m_2} + F_n \cdot (w_n - w_c))) = (V_{\phi_2} \cdot p_{\phi_2} \cdot c_{\phi_2})/2 \cdot \frac{d}{dt} \cdot \Delta Q_{\phi_2} \\
& \Delta w_n \cdot (F_n + F_n \cdot w_{\phi_2}) - \Delta w_c \cdot (F_n + F_n \cdot w_{\phi_2}) - \Delta F_{m_2} \cdot (w_{\phi_2} - w_{m_2}) - \Delta w_{\phi_2} \cdot F_{m_2} = \\
& \quad = (V_{m\phi} \cdot p_{m\phi})/2 \cdot \frac{d}{dt} \cdot \Delta w_n + \Delta w_c \\
& \Delta F_{m_2} \cdot (w_{m_2} - w_{\phi_2}) - \Delta w_{\phi_2} \cdot (F_{m_2} + F_n \cdot (w_n - w_c)) - \Delta w_n \cdot (F_n \cdot r + F_n \cdot w_{\phi_2}) - \\
& \quad - \Delta w_c \cdot (F_n \cdot r - F_n \cdot w_{\phi_2}) - \Delta F_{m_2} \cdot r = (V_{\phi_2} \cdot p_{\phi_2})/2 \cdot \frac{d}{dt} \cdot \Delta w_{\phi_2} \\
& -\Delta Q_c \cdot (F_n \cdot C_c) + \Delta w_n (F_n \cdot r) - \Delta w_c (F_n \cdot r) = (V_{m\phi} \cdot p_{m\phi})/2 \cdot \frac{d}{dt} \cdot \Delta Q_c
\end{aligned} \right.$$

(12)

### Рівняння в канонічній формі і в формі Коші

Ділимо перше рівняння з (12) на  $(C_{\phi_2} \cdot (F_{m_2} + F_n \cdot (w_n - w_c)))$ :

$$\Delta F_c \cdot \frac{w_1 - w_2}{F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}} - \Delta w_2 + \Delta w_4 \cdot \frac{2k_c \cdot S}{m \cdot (F_c + \frac{k_c \cdot S}{2})} = \frac{V_c \cdot \rho_c}{F_c + \frac{k_c \cdot S}{2}} \frac{d(\Delta w_2)}{dt}, \quad (13)$$

Введемо наступні позначення для рівняння (10):

$$T_1 = \frac{(V_{\phi_2} \cdot p_{\phi_2} \cdot c_{\phi_2})/2}{C_{\phi_2} \cdot (F_{m_2} + F_n \cdot (w_n - w_c))},$$

$$k_{F_{m_2} Q_{\phi_2}} = \frac{C_{m_2} \cdot Q_{m_2} - C_{\phi_2} \cdot Q_{\phi_2}}{C_{\phi_2} \cdot (F_{m_2} + F_n \cdot (w_n - w_c))}, \quad (14)$$

$$k_{w_n Q_{\phi_2}} = \frac{F_n \cdot C_{\phi_2} \cdot Q_{\phi_2} + F_n \cdot r}{C_{\phi_2} \cdot (F_{m_2} + F_n \cdot (w_n - w_c))}$$

$$k_{w_c Q_{\text{БГ}}} = \frac{F_n \cdot C_{62} \cdot Q_{62} - F_n \cdot r}{C_{62} \cdot (F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))}$$

Запишемо рівняння (12) з врахування позначень (14) у канонічній формі:

$$T_1 \frac{d(\Delta Q_{62}(t))}{dt} + \Delta w_c(t) \cdot k_{w_c Q_{\text{БГ}}} + \Delta Q_{62}(t) = k_{w_n Q_{\text{БГ}}} \cdot \Delta w_n(t) - k_{F_{m2} Q_{\text{БГ}}} \cdot \Delta F_{m2}(t) \quad (15)$$

Ділимо друге рівняння з (12) на  $(F_n + F_n \cdot w_{62})$ :

$$\Delta w_n - \Delta w_c - \Delta F_{m2} \cdot \left( \frac{(w_{m2} - w_{62})}{F_n + F_n \cdot w_{62}} \right) - \Delta w_{62} \cdot \frac{F_{m2}}{F_n + F_n \cdot w_{62}} = \frac{(V_T \cdot \rho_T)/2}{F_n + F_n \cdot w_{62}} \cdot \frac{d(\Delta w_c + \Delta w_n)}{dt} \quad (16)$$

Введемо наступні позначення для рівняння (16):

$$T_2 = \frac{(V_T \cdot \rho_T)/2}{F_n + F_n \cdot w_{62}},$$

$$k_{F_{m2} w_c} = \frac{w_{m2} - w_{62}}{F_n + F_n \cdot w_{62}},$$

$$k_{w_{62} w_c} = \frac{F_{m2}}{F_n + F_n \cdot w_{62}} \quad (17)$$

Запишемо рівняння (16) з врахування позначень (26) у канонічній формі:

$$T_2 \frac{d(\Delta w_c t)}{dt} + \Delta w_c(t) + k_{w_{62}w_c} \cdot \Delta w_{62}(t) = k_{F_{m2}w_c} \cdot \Delta F_{m2}(t) - \Delta w_n(t) - T_2 \frac{d(\Delta w_n t)}{dt}, \quad (18)$$

Ділимо третє рівняння з (12) на  $(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))$ :

$$\begin{aligned} \Delta F_{m2} \frac{(w_{m2} - w_{62})}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))} - \Delta w_{\text{БГ}} - \Delta w_{\text{П}} \cdot \frac{F_n \cdot r + F_n \cdot w_{62}}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))} - \Delta w_c \cdot \frac{F_n \cdot r - F_n \cdot w_{62}}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))} = \\ = \frac{(V_c \cdot p_c)/2}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))} \frac{d(\Delta w_{\text{БГ}})}{dt}, \end{aligned} \quad (19)$$

Введемо наступні позначення для рівняння (19):

$$\begin{aligned} T_3 &= \frac{(V_c \cdot p_c \cdot c_c)/2}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))}, & k_{F_{mp}w_{62}} &= \frac{(w_{m2} - w_{62})}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))}, \\ k_{w_c w_{62}} &= \frac{F_n \cdot r - F_n \cdot w_{62}}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))}, & k_{w_{\text{П}} w_{62}} &= \frac{F_n \cdot r + F_n \cdot w_{62}}{(F_{m2} + F_n \cdot (w_n - w_c))} \end{aligned} \quad (20)$$

Запишемо рівняння (19) і з врахування позначень (20) у канонічній формі:

$$-T_3 \frac{d(\Delta w_{\text{БГ}}(t))}{dt} - \Delta w_{\text{БГ}}(t) - k_{w_4 \theta_{c1}} \cdot \Delta w_4(t) = -k_{F_{mp}w_{62}} \cdot \Delta F_{m2}(t) + k_{w_{\text{П}} w_{62}} \cdot \Delta w_{\text{П}}(t), \quad (21)$$

Ділимо четверте рівняння з (12) на  $(F_n \cdot C_c)$ :

$$-\Delta Q_c + \Delta w_n \frac{(F_n \cdot r)}{(F_n \cdot C_c)} - \Delta w_c \frac{(F_n \cdot r)}{(F_n \cdot C_c)} = \frac{(V_{\text{твф}} \cdot p_{\text{твф}})/2}{(F_n \cdot C_c)} \frac{d(\Delta Q_c)}{dt}, \quad (22)$$

Введемо наступні позначення для рівняння (22):

$$T_4 = \frac{(V_{\text{мвф}} \cdot p_{\text{мвф}})/2}{(F_n \cdot C_c)},$$

$$k_{w_n Q_c} = \frac{(F_n \cdot r)}{(F_n \cdot C_c)},$$

$$k_{w_c Q_c} = \frac{(F_n \cdot r)}{(F_n \cdot C_c)} \quad (23)$$

Запишемо рівняння (22) з врахування позначень (23) у канонічній формі:

$$T_4 \frac{d(\Delta Q_c)}{dt} + \Delta Q_c(t) + k_{w_c Q_c} \cdot \Delta w_c(t) = k_{w_n Q_c} \cdot \Delta w_n(t), \quad (24)$$

Отримана система диференціальних рівнянь описує поведінку системи у динамічному режимі.

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 \frac{d(\Delta Q_{\text{вз}}(t))}{dt} + \Delta w_c(t) \cdot k_{w_c Q_{\text{вг}}} + \Delta Q_{\text{вз}} = k_{w_n Q_{\text{вг}}} \cdot \Delta w_n(t) - k_{F_{m_2} Q_{\text{вг}}} \cdot \Delta F_{m_2}(t) \\ T_2 \frac{d(\Delta w_c(t))}{dt} + \Delta w_c(t) + k_{w_{\text{вз}} w_c} \cdot \Delta w_{\text{вз}}(t) = k_{F_{m_2} w_c} \cdot \Delta F_{m_2}(t) - \Delta w_n(t) \\ -T_3 \frac{d(\Delta w_{\text{вг}}(t))}{dt} - \Delta w_{\text{вг}}(t) - k_{w_c w_{\text{вз}}} \cdot \Delta w_c(t) = -k_{F_{m_2} w_{\text{вз}}} \cdot \Delta F_{m_2}(t) + k_{w_{\text{п}} w_{\text{вз}}} \cdot \Delta w_{\text{п}}(t) \\ T_4 \frac{d(\Delta Q_c)}{dt} + \Delta Q_c(t) + k_{w_c Q_c} \cdot \Delta w_c(t) = k_{w_n Q_c} \cdot \Delta w_n(t) \end{array} \right. \quad (25)$$

**Перетворення за Лапласом змінної часу.**

Для подання системи відповідними передатними функціями треба диференціальне рівняння записати в операційній формі: тобто після перетворення за Лапласом змінної часу  $t \rightarrow p$ :

$$\begin{aligned}\Delta w_c(t) &\rightarrow w_c(p) \\ \Delta F_{mz}(t) &\rightarrow F_{mz}(p) \\ \Delta w_n(t) &\rightarrow w_n(p) \\ \Delta \theta_{\delta z}(t) &\rightarrow \Delta \theta_{\delta z}(p) \\ \Delta \theta_c(t) &\rightarrow \Delta \theta_c(p) \\ \Delta w_{\delta z}(t) &\rightarrow w_{\delta z}(p)\end{aligned}$$

Отримуємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} (T_1 p + 1)Q_{\delta z}(p) + w_c(p) \cdot k_{w_c Q_{\text{БГ}}} = k_{w_n Q_{\text{БГ}}} \cdot w_n(p) - k_{F_{mz} Q_{\text{БГ}}} \cdot F_{mz}(p) \\ (T_2 p + 1)(w_c(p) + \Delta w_n(p)) + k_{w_{\delta z} w_c} \cdot w_{\delta z}(p) = k_{F_{mz} w_c} \cdot F_{mz}(p) \\ (T_3 p + 1)w_{\text{БГ}}(p) + k_{w_c w_{\delta z}} \cdot w_c(p) = k_{F_{mp} w_{\delta z}} \cdot F_{mz}(p) - k_{w_{\Pi} w_{\delta z}} \cdot w_{\Pi}(p) \\ (T_4 p + 1)Q_c(p) + k_{w_c Q_c} \cdot w_c(p) = k_{w_n Q_c} \cdot w_n(p) \end{cases} \quad (26)$$

Складемо визначник системи рівняння (26):

$$\begin{aligned}\Delta &= \begin{vmatrix} 0 & (T_1 p + 1) & 0 & -k_{w_n Q_{\text{БГ}}} \\ 0 & 0 & k_{w_{\delta z} w_c} & (T_2 p + 1) \\ 0 & 0 & (T_3 p + 1) & k_{w_{\Pi} w_{\delta z}} \\ (T_4 p + 1) & 0 & 0 & k_{w_n Q_c} \end{vmatrix} = \\ &= (T_4 p + 1) \begin{vmatrix} (T_1 p + 1) & 0 & -k_{w_n Q_{\text{БГ}}} \\ 0 & k_{w_{\delta z} w_c} & (T_2 p + 1) \\ 0 & (T_3 p + 1) & k_{w_n Q_c} \end{vmatrix} = \\ &= -(T_4 p + 1)(T_1 p + 1)(k_{w_{\delta z} w_c} k_{w_{\Pi} Q_c} - (T_3 p + 1)(T_2 p + 1))\end{aligned}$$



Визначники за каналом керуюча дія та збурення:

$$F_{m_z} = \begin{bmatrix} k_{F_{m_z} Q_{BF}} \\ k_{F_{m_z} w_c} \\ k_{F_{m_z} w_{\theta z}} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad w_n = \begin{bmatrix} k_{w_n Q_{BF}} \\ 0 \\ k_{w_n w_{\theta z}} \\ k_{w_n Q_c} \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} \Delta_{F_{m_z}} &= \begin{vmatrix} 0 & (T_1 p + 1) & 0 & -k_{F_{m_z} Q_{BF}} \\ 0 & 0 & k_{w_{\theta z} w_c} & -k_{F_{m_z} w_c} \\ 0 & 0 & (T_3 p + 1) & k_{F_{m_z} w_{\theta z}} \\ (T_4 p + 1) & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= (T_4 p + 1) \begin{vmatrix} (T_1 p + 1) & 0 & -k_{F_{m_z} Q_{BF}} \\ 0 & k_{w_{\theta z} w_c} & -k_{F_{m_z} w_c} \\ 0 & (T_3 p + 1) & k_{F_{m_z} w_{\theta z}} \end{vmatrix} \\ &= -(T_4 p + 1)(T_1 p + 1)(k_{w_{\theta z} w_c} k_{F_{m_z} w_{\theta z}} + (T_3 p + 1)k_{F_{m_z} w_c}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{w_n} &= \begin{vmatrix} 0 & (T_1 p + 1) & 0 & k_{w_n Q_{BF}} \\ 0 & 0 & k_{w_{\theta z} w_c} & 0 \\ 0 & 0 & (T_3 p + 1) & k_{w_n w_{\theta z}} \\ (T_4 p + 1) & 0 & 0 & k_{w_n Q_c} \end{vmatrix} = \\ &= (T_4 p + 1) \begin{vmatrix} (T_1 p + 1) & 0 & k_{w_n Q_{BF}} \\ 0 & k_{w_{\theta z} w_c} & 0 \\ 0 & (T_3 p + 1) & k_{w_n w_{\theta z}} \end{vmatrix} \\ &= -(T_4 p + 1)(T_1 p + 1)(k_{w_{\theta z} w_c} k_{w_n w_{\theta z}}) \end{aligned}$$

**Передатні функції за каналом керування та збурення**

Отже, передатна функція за каналом керування «витрата топкових газів на вході  $\rightarrow$  вологість спеку на виході» ( $F_{\text{тг}} \rightarrow \omega_c$ ):

$$W_{ker}(p) = \frac{\Delta_{F_0}}{\Delta} =$$

$$= \frac{(k_{w_{\text{гз}}w_c} k_{F_{\text{мз}}w_{\text{гз}}} + (T_3 p + 1) k_{F_{\text{мз}}w_c})}{(k_{w_{\text{гз}}w_c} k_{w_{\text{п}}Q_c} - (T_3 p + 1)(T_2 p + 1))} =$$

Отже, передатна функція за каналом збурення «вологість пульпи на вході  $\rightarrow$  вологість спеку на виході» ( $w_n \rightarrow \omega_c$ ):

$$W_{zb}(p) = \frac{\Delta_{F_c}}{\Delta} =$$

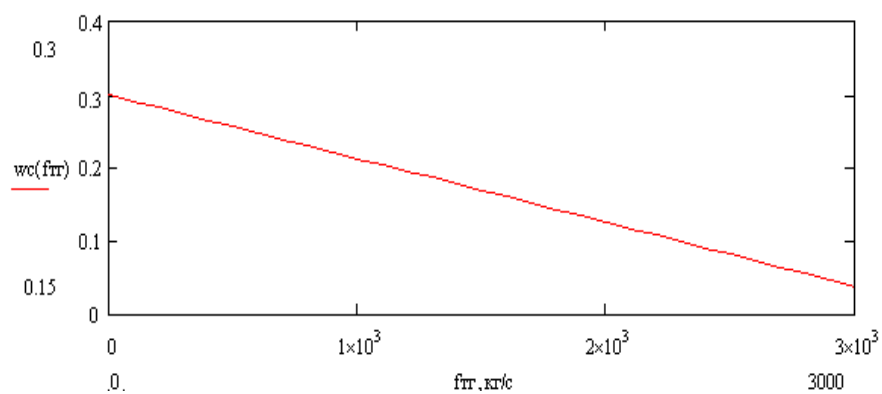
$$= \frac{(k_{w_{\text{гз}}w_c} k_{w_n w_{\text{гз}}})}{(k_{w_{\text{гз}}w_c} k_{w_{\text{п}}Q_c} - (T_3 p + 1)(T_2 p + 1))}$$

### Статичні та динамічні характеристики об'єкта

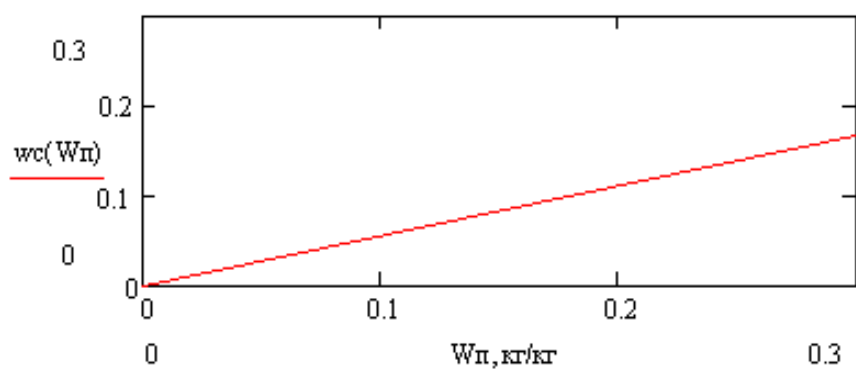
Статичні характеристики:

По каналу керування:  $\omega_c = f(F_{\text{п}})$ .

По каналу збурення:  $\omega_c = f(w_{\text{п}})$ .



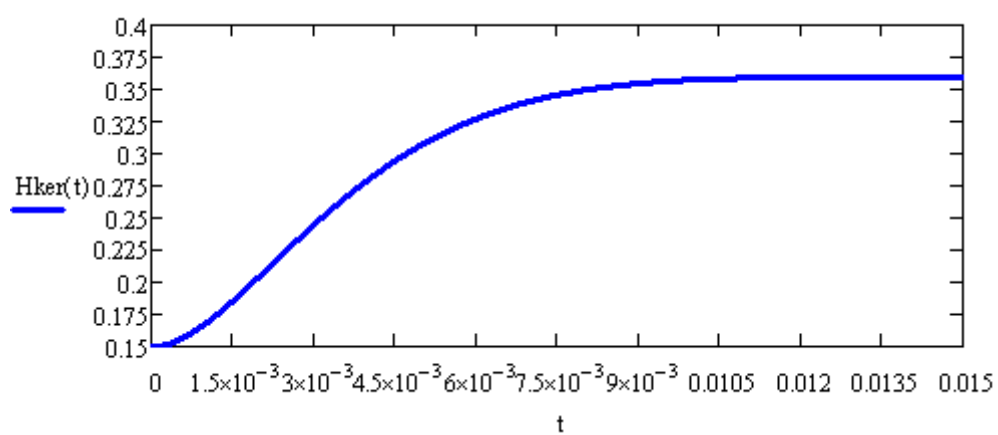
a) По каналу керування



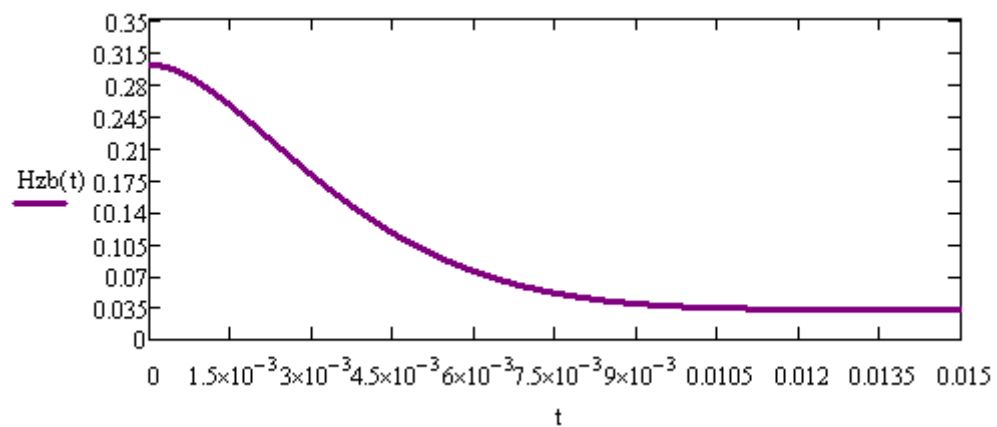
b) По каналу збурення

Рис. 3.1. Статичні характеристики розпилювач сушарки

Динамічні характеристики:



c) По каналу збурення



d) По каналу керування

Рис. 3.2. Динамічні характеристики розпилювача сушарки

## РОЗДІЛ 4. СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

### Налаштування регулятора за допомогою середовища SISOTool

Інтерактивне середовище SISOTool використовується для вирішення завдання синтезу коригуючого пристрою (регулятора) і попереднього фільтра (пристрою прямого зв'язку). Іншими словами цей засіб служить для вибору виду і параметрів керуючого пристрою виходячи з вимог, що пред'являються до якості роботи проекрованої системи управління в перехідному і усталеному процесах. При такому синтезі передбачається, що попередньо отримані (отже відомі) математичні моделі елементів незмінної частини проекрованої системи і що обрано допустимий закон управління, що визначає її структурну схему.

Задаємо передатну функцію об'єкта в наступному вигляді:

```
>> Wm = tf(0.35, [28 3.84 0.24])
```

Wm =

0.35

-----

$28 s^2 + 3.84 s + 0.24$

Continuous-time transfer function.

Та викликаємо інтерактивне середовище налаштування регулятора «SISOTool» командою, передавши в якості аргумента нашу передатну функцію:

```
>> sisotool(Wm)
```

Відразу з'являється вікно середовища «SISOTool» з усіма необхідними діаграмами:

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						45
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

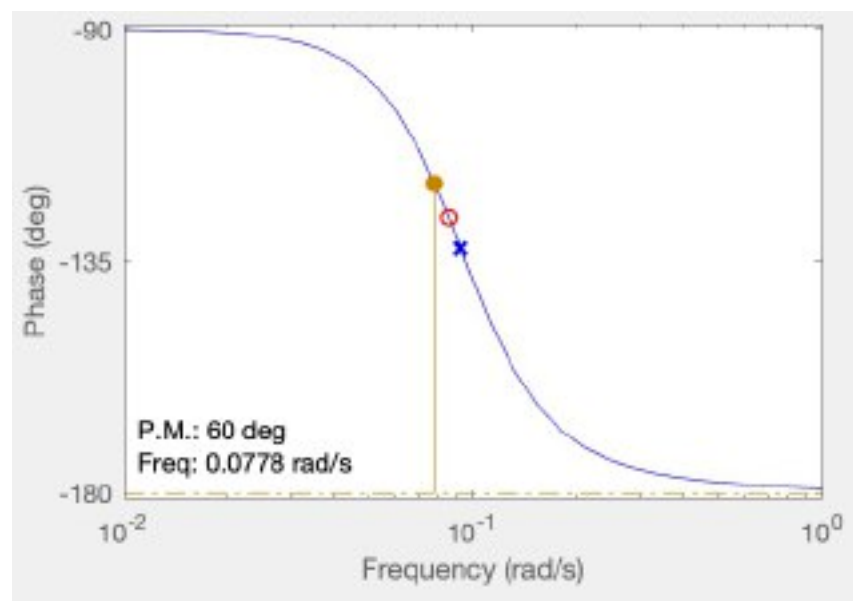
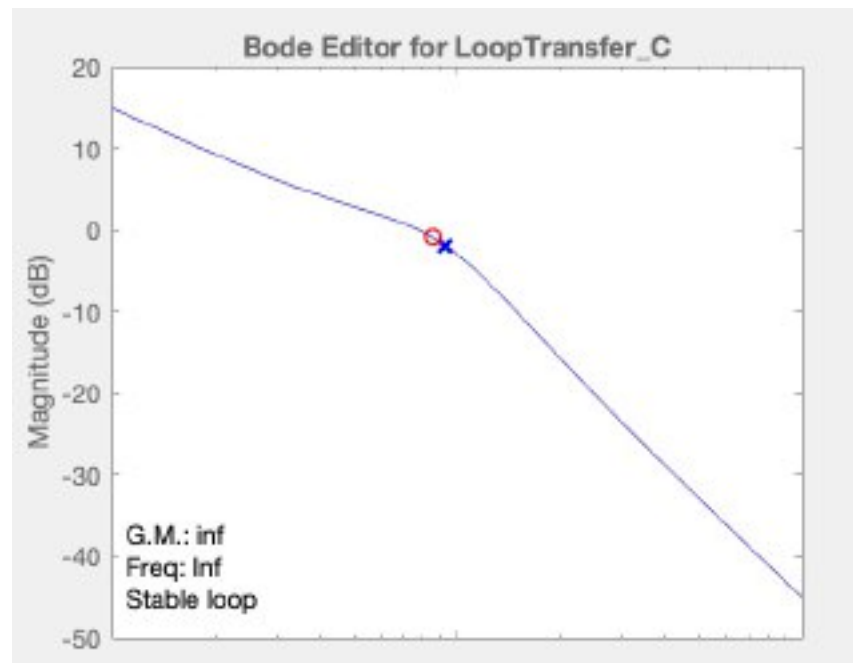


Рис.4.1 Діаграма Бодє (ЛАФЧХ)

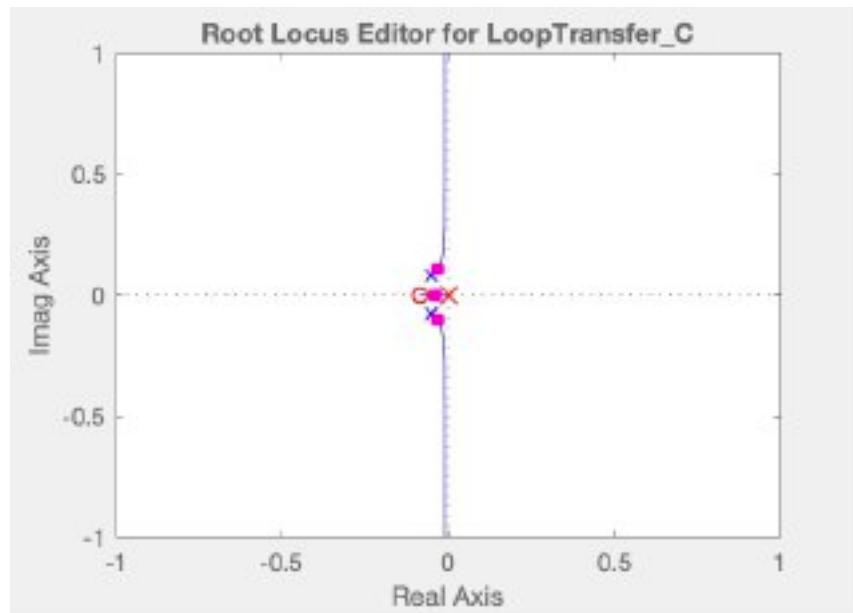


Рис.4.2. Графік нулів та полюсів

Для налаштування регулятора потрібно зверху серед інструментів середовища натиснути на «Tuning Methods», та у випадяючому меню обрати налаштування ПІД налаштування «PID Tuning».

З'являється вікно налаштування та вибору регулятора .

Натискаємо Update Compensator, попередньо обравши його тип (П, ІІ, ПІД тощо).

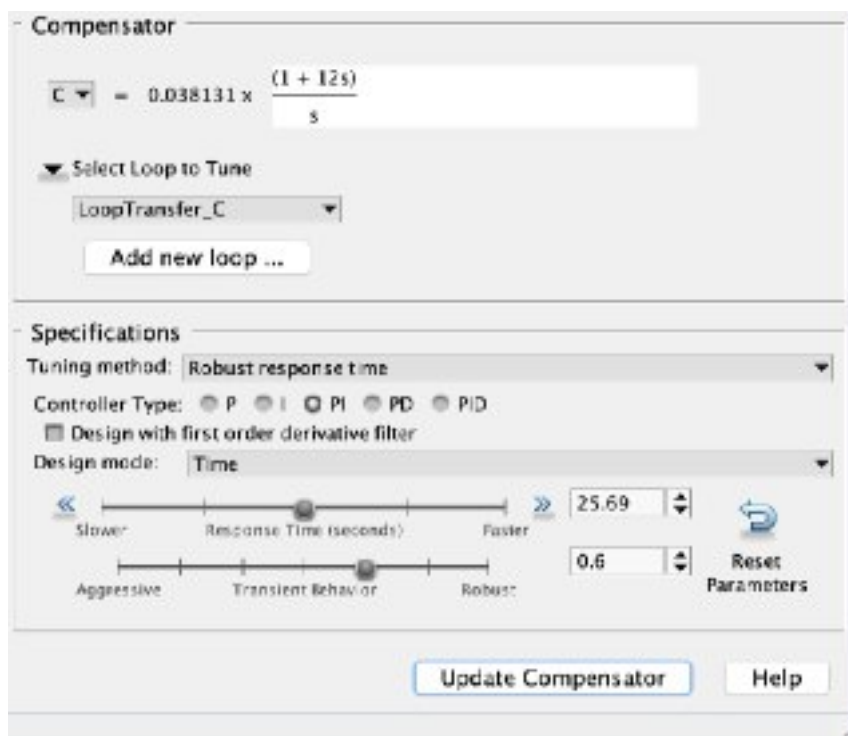


Рис.4.3. Вікно налаштування регулятора

Налаштувавши систему ПІ регулятором та отримуємо його передатну функцію:

$$C = \frac{0.038131s^2 + 0.457572s}{s}$$

Де  $Kp = 0.038131$

$Ki = 0.457572$

Реакція системи на одиничний ступінчастий сигнал:

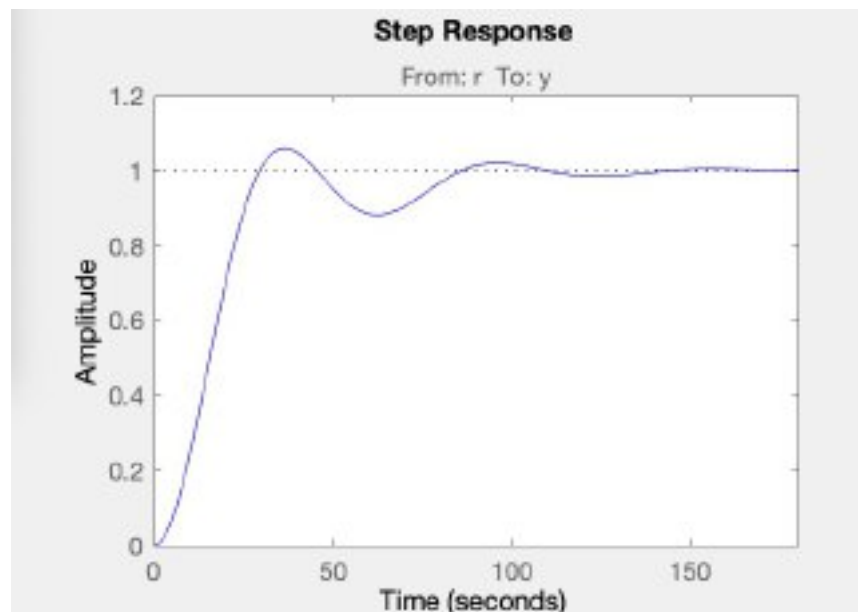


Рис.4.4. Реакція системи на одиничний ступінчастий сигнал

### Налаштування регулятора за допомогою середовища LabView

Передатну функцію можна запрограмувати в системі LabVIEW. Для цього використаємо структуру While і Formula Node.

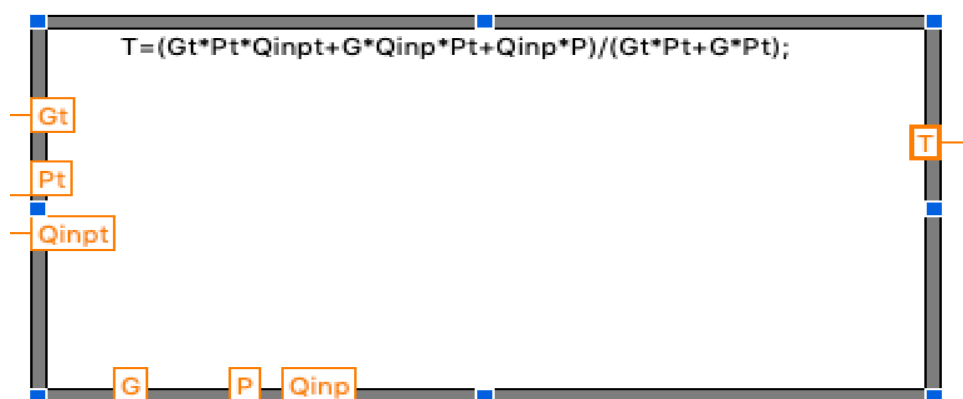


Рис. 4.5. Фрагмент програми із моделлю об'єкта



Розглянемо рівняння ПД-регулятора

$$U(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

де  $U(t)$  – регулювальний вплив;  $e(t)$  – відхилення регулювальної величини від заданого значення;  $T_i$ ,  $T_d$ , – сталі часу інтегрування та диференціювання.

Замінив  $e(t)$  на  $e(nT)$ , а  $U(t)$  на  $U(nT)$ , де  $T$  – період дискретизації,  $n=0, 1, 2 \dots$ , перейдемо до гратчастої функції

$$U(nT) = K_p \left[ e(nT) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^n \frac{e(iT) + e((i-1)T)}{2} + T_d \left[ \frac{e(nT) - e((n-1)T)}{T} \right] \right].$$

Віднімемо з обох частин рівняння величину  $U((n-1)T)$  та отримаємо рекурентне рівняння, що є більш зручним для програмування:

$$U(nT) = U((n-1)T) + K_p \left[ \{e(nT) - e((n-1)T)\} + \frac{T}{2T_i} \{e(nT) + e((n-1)T)\} + \frac{T_d}{T} [e(nT) - 2e((n-1)T) + e((n-2)T)] \right],$$

або після перетворень

$$\begin{aligned} U(nT) = & U((n-1)T) + K_p \left( 1 + \frac{T}{2T_i} + \frac{T_d}{T} \right) e(nT) + \\ & + K_p \left( -1 + \frac{T}{2T_i} - \frac{2T_d}{T} \right) e((n-1)T) + \\ & + \frac{K_p T_d}{T} e((n-2)T). \end{aligned}$$

Для отримання значень відхилень  $e((n-1)T)$  та  $e((n-2)T)$  використовуємо зсувові регістри на два та три кроки назад. Початкові значення відхилень задаємо нульовими.

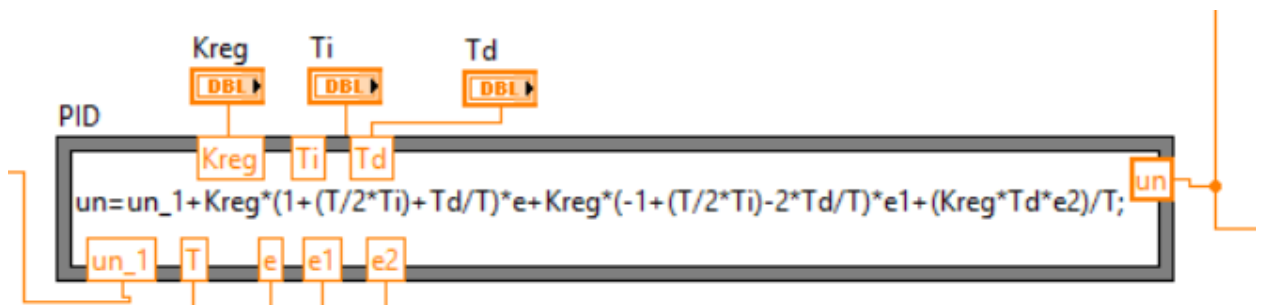


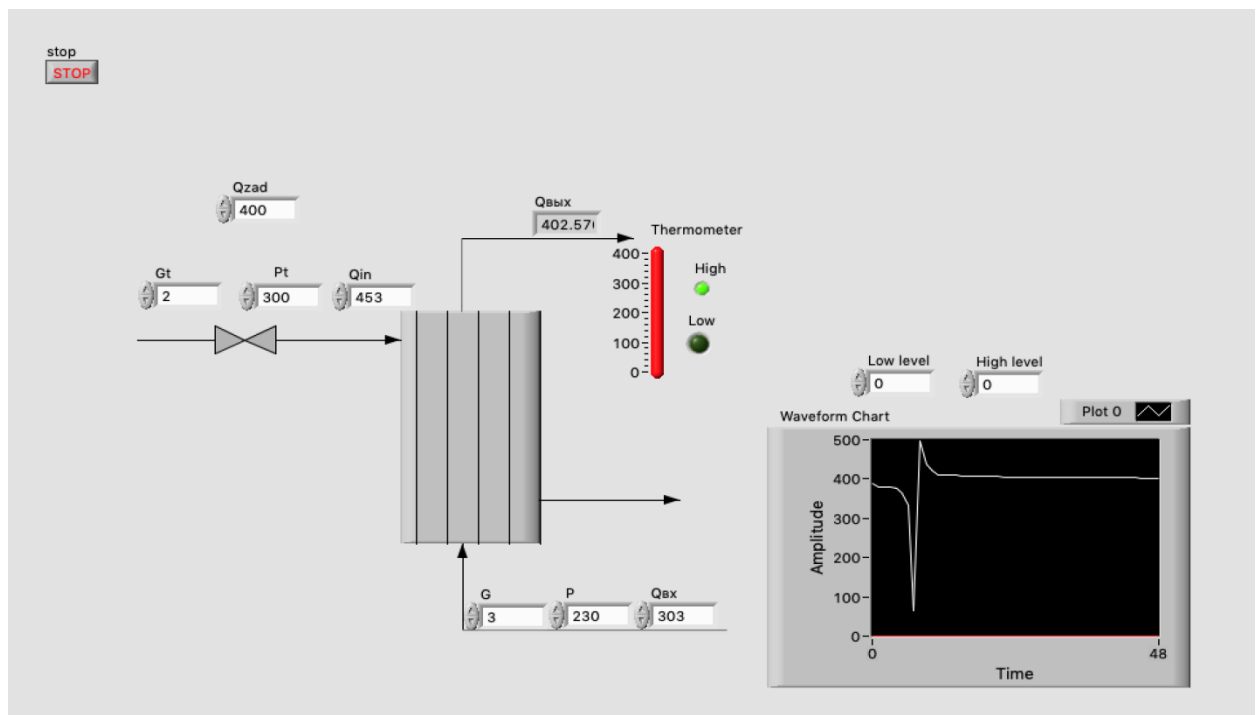
Рис. 4.6. ПІД-регулятор

### Структура системи керування

Для моделювання оберемо одноконтурну дискретну замкнену систему із дискретним аналогом ПІД-регулятора (рис. 9.4).

Результати обчислень відображаються на графіку «Waveform Chart» і формуються за допомогою «Bundle».

### Front Panel



## Block Diagram

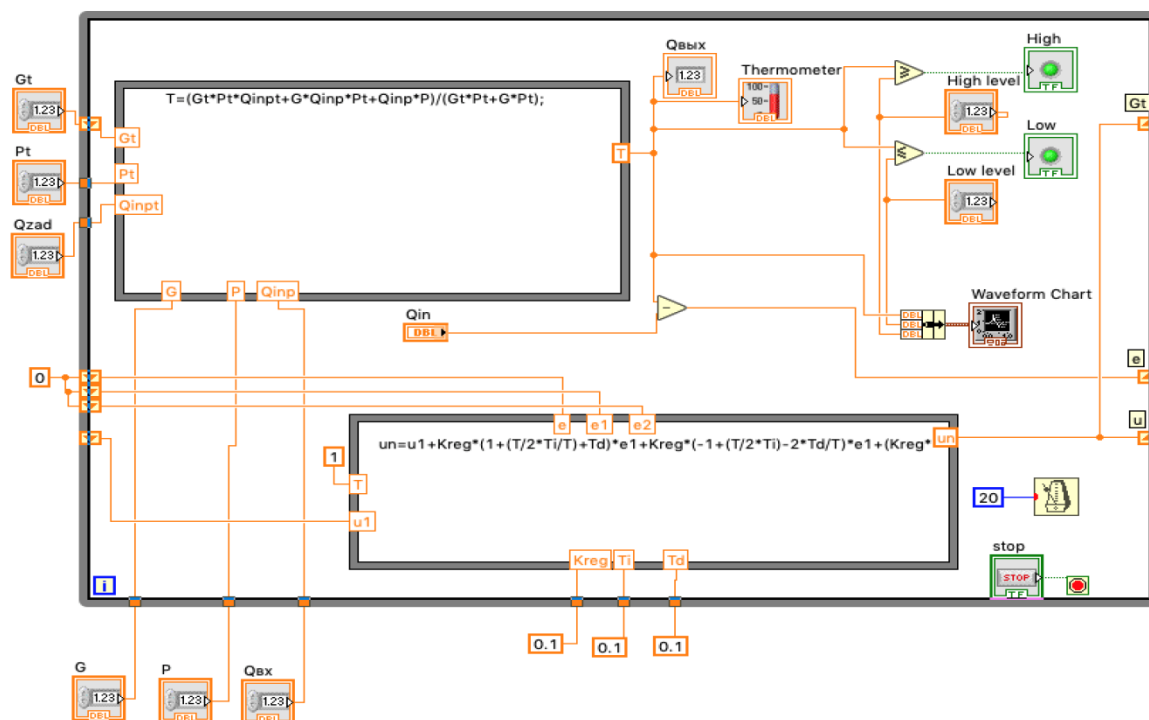


Рис.5.7 Блок діаграма та фронтальна панель

## Розділ 5. РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

### Постановка задачі

1. Розробити схему автоматичного контролю температури топкових газів 1200 °С у карбонізаторі за допомогою термопари з виведенням вимірювальної інформації на мікропроцесорний індикатор і забезпеченням сигналізації граничних (верхнього і нижнього) значень. Запропонувати необхідні для її реалізації технічні засоби автоматизації.

2. Розробити структурну схему вимірювального каналу температури топкових газів у карбонізаторі.

3. Розрахувати сумарну похибку вимірювального каналу температури топкових газів (довірчу імовірність взяти такою, що дорівнює 0,95), підібравши ЗВТ з відповідними метрологічними характеристиками.

### Схема системи автоматичного контролю температури газів :

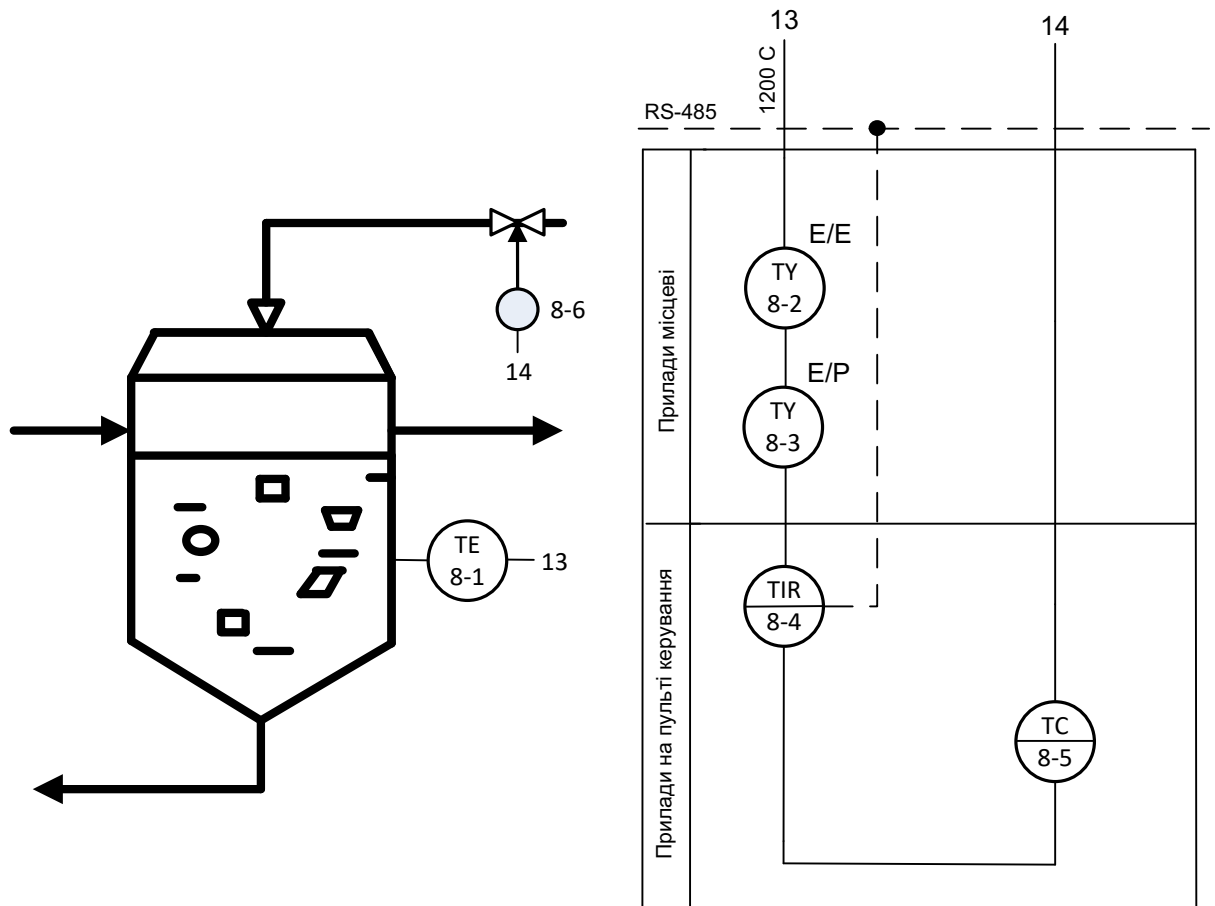


Рис. 5.1. Контур автоматичного контролю температури топкових газів:

8-1 – термопара; 8-2 – нормуючий перетворювач; 8-3 – електропневматичний перетворювач; 8-4 – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний з сигналізацією; 8-5 –;

**Структурна схема розробленого контуру автоматичного контролю температури ацетилену на виході з генератора:**

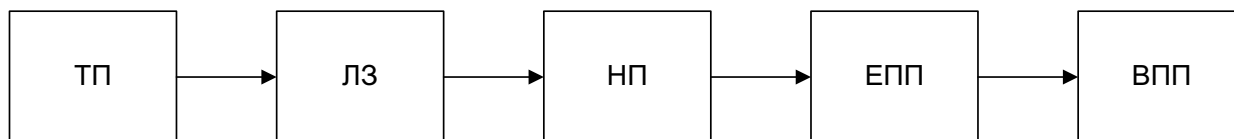


Рис. 5.2. Структурна схема контуру автоматичного контролю температури топкових газів

Використані позначення: ТП – термопара; ЛЗ – лінії зв’язку; НП – нормуючий перетворювач; ЕПП – електропневматичний перетворювач; ВПП – вторинний пневматичний прилад.

Скориставшись специфікацією, отримуємо необхідні дані по приладам ТЗА, що відповідають умовам задачі: термопара платино-родієва ТПР-0492, діапазон вимірювання становить 600...1380 °С; лінії зв’язку (ЛЗ) класу точності 0,4; прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний ФК0071 класу точності 0,5.

3.1. Для ТП з класом допуску В гранично допустиме відхилення в діапазоні вимірювання від 600 до 1300 °С визначається з виразу  $\pm(0,004 |t|)$ . Звідси допустима абсолютна похибка термопари ТПР-0492:

$$\Delta t_{\text{доп}} = \pm (0,004 \times |1200|) = 4,8 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Згідно з ймовірністю  $P_d = 0,95$ , для кожного елемента розрахуємо середньо-квадратичну похибку в абсолютних значеннях з виразу  $\Delta_{0,95} = K_{n_{0,95}} \sigma$ . Для ТП отримаємо :

$$\sigma_{\text{ТП}} = \frac{\Delta t_{\text{доп,ТП}}}{K_{n_{0,95}}} = \frac{4,8}{1,96} = 2,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.2. Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв’язку :

$$\Delta_{\text{доп,ЛЗ}} = \frac{K_{\text{ЛЗ}} \cdot t_{\text{вим. max}}}{100} = \frac{0,4 \cdot 1200}{100} = 4,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{НП} = \frac{\Delta_{ДОП_{ЛЗ}}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{4,8}{1,96} = 2,45^{\circ}\text{C}$$

3.3. Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для нормувального перетворювача:

$$\Delta_{ДОП_{НП}} = \frac{K_{Т_{НП}} \cdot t_{вим. max}}{100} = \frac{0,4 \cdot 1200}{100} = 4,8^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{ЕПП} = \frac{\Delta_{ДОП_{КПП}}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{4,8}{1,96} = 2,45^{\circ}\text{C}$$

3.4. Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для електропневматичного перетворювача:

$$\Delta_{ДОП_{ЕПП}} = \frac{K_{Т_{КПП}} \cdot t_{вим. max}}{100} = \frac{0,5 \cdot 1200}{100} = 6^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{ЛЗ} = \frac{\Delta_{ДОП_{КПП}}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{6}{1,96} = 3,06^{\circ}\text{C}$$

3.5. Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний ФК0071 :

$$\Delta_{ДОП_{ВП}} = \frac{K_{Т_{ВП}} \cdot t_{вим. max}}{100} = \frac{0,5 \cdot 1200}{100} = 6^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{ВП} = \frac{\Delta_{ДОП_{ВП}}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{6}{1,96} = 3,06^{\circ}\text{C}$$

Розрахуємо середньоквадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу :

$$\sigma_{БК} = \sqrt{\sigma_{ПП}^2 + \sigma_{ЛЗ}^2 + \sigma_{НП}^2 + \sigma_{ЕПП}^2 + \sigma_{ВП}^2} = \sqrt{2,45^2 + 2,45^2 + 2,45^2 + 3,06^2 + 3,06^2} = 5,23^{\circ}\text{C}$$

Розрахуємо граничнодопустиму абсолютну похибку вимірювального каналу :

$$\Delta_{ДОП_{БК}} = \pm K_{H_{0,95}} \cdot \sigma_{БК} = \pm 1,96 \cdot 5,23 = \pm 10,25^{\circ}\text{C}$$

Розрахуємо граничнодопустиму зведену похибку вимірювального каналу :

$$\gamma_{ДОП_{БК}} = \pm \frac{\Delta_{ДОП_{БК}}}{ДВ} \cdot 100\% = \pm \frac{10,25}{(1380 - 600)} \cdot 100\% = \pm 1,3142\%$$

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						54
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Отже, аналізований вимірювальний канал температури відповідає класу точності 1.5, а дійсне значення вимірюваної температури  $T_d = 1200 \pm 10,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  з імовірністю  $P_d = 0,95$ .

## Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно чинного законодавства України про Охорону праці Закон

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						55
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Відповідно до теми дипломного проекту «Автоматизація процесу виробництва глинозему методом спікання».

В даному процесі маємо справу із парою, високою температурою і різноманітними хімічними речовинами, що являються відходами в процесі виробництва та установками, що працюють під тиском. Тому для забезпечення безпеки потрібно строго виконувати заданий режим, безперервно слідкувати за роботою апаратури, забороняється залишати її без нагляду.

Контроль та обслуговування технологічної лінії виробництва буде здійснювати оператор технологічного процесу з операторської кабіни (площею 15 м<sup>2</sup> та об'ємом 40 м<sup>3</sup>).

На робочому місці оператора наявні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- повітря робочої зони;
- виробниче освітлення;
- електробезпека;
- пожежна безпека.

### **Повітря робочої зони**

Речовини що являються відходами в процесі виробництва глинозему методом спікання є в тій чи іншій мірі *шкідливими (або виробничими газами)*.

Патологічні процеси, що розвиваються під дією виробничих газів, спричиняють в організмі людини до порушення функціонального і структурного стану, необхідного для його нормальної життєдіяльності.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						56
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



Характер і ступінь таких змін під дією газів обумовлений їх концентрацією (дозою), часом дії і періодом виведення (елюмінації) з організму. Токсичний ефект хімічних речовин залежить від індивідуальних властивостей особистості, що визначається станом здоров'я людини.

ГДК парів отруйних речовин, що виділяються під час виробництва, складає 10 мг/м<sup>3</sup>.

Для запобігання професійним отруєнням служать технологічні, технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи та засоби. Радикальним способом захисту є заміна отруйних неотруйними або менш токсичними речовинами, дотримання правил безпеки і виробничої санітарії, введення нових технологій, санітарно-гігієнічна експертиза хімічних речовин, їх гігієнічна стандартизація, комплексна механізація та автоматизація виробничих процесів.

Ефективним заходом профілактики на виробництвах, де використовують високо-отруйні речовини, фактична концентрація цих парів дорівнює 6 мг/м<sup>3</sup>, це відповідає ГОСТ 12.1.005-88/98, є впровадження дистанційного управління або безперервності технологічних процесів, за рахунок яких усувається порушення герметичності обладнання.

Суттєво впливають на рівень професійної токсикології санітарно-гігієнічні засоби: обладнання ефективної природної та штучної припливно-витяжної вентиляції, а в разі потреби - аварійної механічної вентиляції, розробка і впровадження систем кондиціонування повітря з використанням автоматичної і контрольно-вимірювальної апаратури, яка сигналізує про наявність шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

До лікувально-профілактичних заходів належить обов'язкова реєстрація всіх випадків професійних отруєнь та їх розслідування з метою виявлення та усунення їх причин. Обов'язкові попередні й наступні медичні огляди, результати яких є підставою для розробки відповідних заходів запобігання та переведення працівників на іншу роботу і спеціального лікування.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						57
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Серед організаційних заходів законодавчо передбачена скорочена тривалість робочого дня, додаткові відпустки, безплатне спеціальне й лікувально-профілактичне харчування, підвищений рівень заробітної плати, скорочений термін виходу на пенсію.

За станом повітря виробничої зони необхідно здійснювати систематичний контроль з метою порівняння його з гігієнічними нормативами. Крім наведеного роботодавець має забезпечувати всіх працюючих ЗІЗ органів дихання, спеціальним одягом, спеціальним взуттям, засобами захисту рук, обличчя, очей.

Для очищення робочого середовища від шкідливих речовин що можуть у нього потрапляти, а також для подачі свіжого повітря використовується *припливно-витяжна вентиляція*.

1. Показниками, що характеризують мікроклімат, є:

- 1) температура повітря;
- 2) відносна вологість повітря;
- 3) швидкість руху повітря;
- 4) інтенсивність теплового випромінювання.

Фактичні метеорологічні умови в операторській для роботи середньої важкості.

- Температура повітря, °С

Перехідний та холодний період року – 18-24 °С.

Теплий період року – 19-28 °С.

Фактичні метеорологічні умови – 21-24 °С.

- Відносна вологість повітря, %

Холодний період року – 45-65 %.

Теплий період року – 40-75 %.

Фактичні метеорологічні умови – 35-60 %.

- Швидкість руху повітря, м/с

Холодний період року – 0,15 м/с.

Теплий період року – 0,25 м/с.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						58
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Фактичні метеорологічні умови – 0,8м/с.

Фактичні метеорологічні умови відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

Опалення виробничих приміщень – повітряне, сполучене із проточною вентиляцією.

До засобів нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць ставляться освітлювальні прилади, світлові прорізи.

Додатково до технологічних заходів системами опалення й вентиляції повітряне середовище в приміщеннях доводиться до вимог санітарних норм і правил техніки безпеки.

*Засоби індивідуального захисту є допоміжною мірою захисту працівників цеху від шкідливої дії професійних факторів. Для захисту дихальних шляхів використовують протигази ИП-4М. Для захисту очей використовуються захисні окуляри.*

2. Працівники отримують захисний одяг – індивідуальний спецодяг – від впливу продуктів, газів, високих та низьких температур:

- бавовняні костюми ;
- рукавиці спеціальні , гумові технічні рукавички ;
- захисні окуляри ;
- захисні каски ;
- захисні щитки лицьові ;

Знаходження обслуговуючого персоналу на робочому місці без спецодягу заборонено.

Індивідуальні фільтруючі протигази зберігаються в спеціальних шафах з комірками. Передача протигаза однією особою іншій забороняється.

### **Виробниче освітлення**

У денний час в операторській передбачене денне освітлення згідно ДНБ В 25.28-2006. Роботи, виконувані в операторській, пов'язані зі зняттям показань з контрольно-вимірювальної апаратури, відносяться до III розряду зорових робіт.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						59
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

У приміщенні КВП (контроль вимірювальних пристроїв) є вікна розміром 3300х2300 мм. Вони забезпечують значення коефіцієнта природного освітлення 8 - 10 %.

Коефіцієнт природного освітлення для даного розряду робіт при верхньому і комбінованому освітленні складає 8 %. Отже, фактичне значення КПО відповідає нормам.

Для забезпечення освітленості, відповідної III розряду зорових робіт при світлодіодних лампах, використаємо лампи ІЕК НР, які мають освітленість  $E_n=250$  Лк, світловий потік  $F_{\text{л}}=4500$  Лм, потужність  $W=50$  Вт, діаметр  $d=123$  мм, термін придатності  $T=30000$  год .

Поставимо 9 світильників, що забезпечать освітленість приміщення для даного розряду зорових робіт. При цьому  $E_{\text{факт}}=275$  Лк.  $E_{\text{нор}}=250$  Лк.

Освітленість приміщення відповідає нормам відповідно до ДНБ В 25.28-2006.

### Електробезпека

Відповідно до правил улаштування електроустановок цех виробництва за небезпекою електротравм відноситься до приміщення з *підвищеною небезпекою*.

В приміщенні застосовується *трифазна чотирипровідна мережа напругою 380 В з глухозаземленою нейтраллю та частотою 50 Гц*. У цьому випадку захисне заземлення не є досить надійним захистом щодо профілактики електротравм. Більш ефективним засобом попередження електротравм при замиканні на корпус у даному випадку вважається *занулення* – навмисне електричне з'єднання неструмовідних елементів електроустановки, які можуть опинитися під напругою в результаті замикання на корпус, з нульовим проводом.

*Система технічних засобів і заходів з електробезпеки.*

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						60
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Основні технічні засоби і заходи що застосовуються для забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок в цеху включають:

- *ізоляція струмовідних частин* - забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок;
- *недоступність струмовідних частин* – застосовуються захисні огороження, закриті комутаційні апарати, неізольовані струмовідні частини розміщуються на висоті, недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями, обмежується доступ сторонніх осіб в електротехнічні приміщення;
- *блоківки безпеки* - унеможливають доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попереджують помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допускають порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання;
- *засоби орієнтації в електроустановках* - дають можливість персоналу чітко орієнтуватися при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям.

*Система електрозахисних засобів.*

Основні електрозахисні засоби для роботи з електричним обладнанням в цеху:

- ізолювальні штанги;
- ізолювальні кліщі;
- електровимірювальні кліщі;
- показчики напруги;
- діелектричні рукавички;
- інструмент з ізолювальним покриттям;
- діелектричне взуття;
- сигналізатори напруги;

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						61
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- захисні огороження (щити, ширми);
- переносні заземлення;
- в аварійному режимі використовується занулення з автоматичним відключенням згідно ГОСТ 12.1.030-84.

-

### Пожежна безпека

При обслуговуванні системи автоматизації процесу виробництва нітриту калію, оператор знаходиться в операторській, в якій, окрім виробничого обладнання, знаходяться робочі місця операторів (стілці та столи), необхідна документація, а також можуть знаходитися особисті речі операторів. Тому, приміщення відповідає класу В, зона П-ПА.

*Система попередження вибухів і пожеж.*

Попередження утворення пожежі в цеху забезпечується наступними загальними заходами:

- підтримуються відповідні значення температур та тиску середовища, за яких поширення полум'я виключається;
- максимально механізовані та автоматизовані технологічні процеси;
- видаляються пожежонебезпечні відходи виробництва.
- використовуються машини, механізми, устаткування, пристрої, при експлуатації яких не утворюються джерела запалювання;
- використовуються швидкодійні засоби захисного відключення можливих джерел запалювання;
- використовуються технологічні процеси і устаткування, що задовольняє вимогам статичної іскробезпеки;
- температури нагріву поверхні машин, устаткування, пристроїв, речовин і матеріалів, які можуть увійти в контакт з горючим середовищем, підтримуються нижче гранично допустимої, яка не повинна перевищувати 80% температури самозаймання горючого середовища;

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						62
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- виключається можливість появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, яка дорівнює або перевищує мінімальну енергію запалювання;
- використовується інструмент, робочий одяг і взуття, які не викликають іскроутворення при виконанні робіт;
- виконуються вимоги чинних стандартів, норм та правил пожежної безпеки;
- використовується електроустаткування, що відповідає за своїм виконанням пожежонебезпечним та вибухонебезпечним зонам, групам та категоріям вибухонебезпечних сумішей.
- використовуються пожежна сигналізація.
- використовуються порошкові засоби пожежогасіння САМ-9.
- для захисту органів дихання використовуються повітряні апарати МПА.

### Виробничий шум

Джерелами шуму є: трубопроводи, система кондиціонування та насоси.

Рівень шуму становить:

$$L = 100 \text{ дБА.}$$

Захист від шуму досягається застосуванням засобів і методів індивідуального і колективного захисту, будівельно-акустичними методами. Засоби колективного захисту діляться стосовно джерела шуму: понижуючі шум у джерелі виникнення, понижуючі шум на шляхах його поширення. По способу реалізації:

– Акустичні.

Грунтуються на акустичному вимірі помешкання і за принципом дії підбираються засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізоляція, демпфірування, застосування приглушувачів шуму;

– Будівельно-акустичні методи застосовують: екрани, звукоізоляцію, кабінки спостереження, дистанційне керування, кожухи, ущільнення і т. д. Найбільше ефективні звукоізолюючі матеріали: трипаст (композиційний

					<b>ДП.ЛA5118.ПЗ</b>	Лист
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		63

матеріал); пластобетони з наповненням з опилок деревини, соломи і т. д. Звуковбирні матеріали: мармур, бетон, граніт, цеглина, ДВП, ДСП, войлок, мінераловата, матеріали з щільною перфорацією;

– Архітектурно-планувальні: раціональне розміщення робочих місць; раціональний режим праці і відпочинку. Організаційно-технічні.

Активна форма захисту – генерація шуму в протифофазі до джерела. Засоби індивідуально захисту: навушники, вушні вкладки, шлемофони, каски.

Для зменшення рівня шуму від трубопроводів, для них додатково передбачені комплектні шумозахисні кожухи. Завдяки усім цим заходам шумоізоляції, рівень шуму на даному об'єкті складає  $L = 60$  дБА., що не перевищує допустимі значення, відповідно до ДСНЗ.3.6.037-99.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						64
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



## Висновок

Після отримання завдання для бакалаврського диплому та аналізу всіх вихідних даних було сформовано систему диференціальних рівнянь для трубчастої печі, як об'єкта з розподіленими параметрами. Диференціальні рівняння методом кінцевих різниць перетворено в дискретну форму. Для усіх каналів побудовано статичні та динамічні характеристики.

Для основного каналу керування було синтезовано класичні регулятори. Аналізовано поведінку системи керування при дії збурення.

Також було розроблено заходи з охорони праці, при роботі на підприємстві, яке займається виробництвом глинозему, для забезпечення працівників та уникнення аварійних ситуацій.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						65
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

### Список використаних джерел

1. *Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О.* Технологические расчеты и теория процесса гидроочистки – ООО "Монография", 2008. - 106 с.
2. *Солодова Н.Л., Терентьева Н.А.* Гидроочистка топлив – Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. - 103 с.
3. *Казенов А.А. и др.* Трубчатые печи – ВНИИНЕФТЕМАШ, НЕФТЕХИММАШ-ТТО, 2007. — 23 с.
4. *М.Н. Ягудин* Трубчатые печи. Расчеты при проектировании. – Издательство ГУП ИНХП РБ, 2014. - 256с.
5. *Мышкис А. Д.* Элементы теории математических моделей. — 3-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. — 192 с.
6. *Самарский А. А., Михайлов А. П.* Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001.
7. *Малин А.С., Мухин В.И.* Исследование систем управления Учебник для вузов. — М.: ГУ, 2002. — 329 с.
8. *Гайдук А. Р., Плаксиенко Е. А.* Анализ и аналитический синтез цифровых систем управления. Монография – Издательство: Лань, 2018 г.
9. *Шевяков А.А., Яковлева Р.В.* Управление тепловыми объектами с распределенными параметрами. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 208 с.
10. *Бутковский А.Г.* Теория оптимального управления системы с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1965. - 474 с.

					ДП.ЛА5118.ПЗ	Лист
						67
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

